



César Diogo de Borba Sobreira

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

Avaliação do desempenho da ventilação natural em lares de idosos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Civil – Perfil de Construção

Orientador: João Carlos Viegas, Investigador Principal, Laboratório
Nacional de Engenharia Civil

Co-orientador: Daniel Aelenei, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências
e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando M. A. Henriques

Arguente: Prof. Doutor José Fernando Almeida Dias

Vogal: Doutor João Carlos Viegas

Copyright © César Diogo de Borba Sobreira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto (GERIA) Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal (PTDC/SAU-SAP/116563/2010), projeto financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Este projeto reúne uma equipa multidisciplinar constituída por engenheiros, médicos e arquitetos provenientes de diversas instituições, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge (INSA), Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Nova de Lisboa (FCM), Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e Faculdade de Ciências de Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL).

Em primeiro lugar queria expressar um sincero agradecimento pela sua total disponibilidade, orientação e apoio, recebidos pelo orientador desta dissertação o Doutor João Viegas, Investigador Principal no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Quero agradecer de igual forma ao Professor Daniel Aelenei, coorientador científico, Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), pela sugestão do tema e pelo apoio dado.

À bolseira do projeto GERIA, Arq. Susana Nogueira pela sua simpatia, dedicação e disponibilidade demonstradas ao longo deste projeto, com quem tive a oportunidade de trabalhar em conjunto na análise de resultados obtidos e na escrita de artigos. Quero também agradecer por todo o material disponibilizado em formato digital e presente nesta dissertação das medições e questionários realizados.

Ao LNEC pelo seu acolhimento e pela oportunidade de realizar este trabalho no Núcleo de Acústica Iluminação Componentes e Instalações, aos técnicos e aos restantes funcionários do LNEC por tão bem me terem acolhido.

Resumo

A esperança média de vida está a aumentar e Portugal é um dos países mais envelhecidos da Europa, sabendo-se que a população idosa apresenta elevada prevalência de doenças crónicas e problemas respiratórios. Estudos indicam que as pessoas desta faixa etária estão em média 19 a 20 horas em ambientes fechados. A Qualidade do Ar Interior (QAI) desempenha um papel crucial na qualidade de vida e na saúde dos idosos. Os adultos pertencentes a faixas etárias mais avançadas, particularmente os idosos, podem ter sistemas imunitários enfraquecidos e problemas de saúde associados à idade incrementando a sua vulnerabilidade a problemas de saúde associados à poluição do ar interior. Este facto torna-se ainda mais evidente e tem mais impacto em grupos de risco com doenças crónicas tais como infeções respiratórias, doenças cardiovasculares e na doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC).

Nesta dissertação estuda-se o a qualidade da ventilação analisando a concentração de dióxido de carbono (CO_2) gerado através do metabolismo humano nos quartos de dormir e nas salas de estar.

A dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto GERIA (Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal) que pretende determinar o impacto da QAI na saúde.

Palavras-chave: Ventilação Natural, Qualidade do Ar Interior e Lares de Idosos.

Abstract

Portuguese life expectancy has been increasing in the last decades, and as a result Portugal now has one of the oldest populations in Europe. Knowing that older citizens are more prone to chronic and respiratory diseases it is crucial to improve their life conditions in elderly care centers. Studies report that the elderly spend on average 19 to 20 hours in enclosed spaces, therefore the indoor air quality (IAQ) plays a crucial role in their life and health. Adults belonging to older age groups, in particular senior citizens, may have weakened immune systems and health problems related to their age, making them more vulnerable to issues related with poor indoor air quality. This becomes more evident in groups with a high propensity to respiratory tract infections, cardiovascular diseases and chronic obstructive pulmonary disease (COPD).

Herein the impact of the pollutants formed by human breathing indoors is assessed by analyzing CO₂ concentration in bedrooms and lounges and determining the ventilation rates from the variation in CO₂ concentration.

This thesis was incorporated in the research project GERIA (Geriatric study in Portugal on Health Effects of Air Quality in Elderly Care Centres) with the main purpose of assessing the effects of IAQ on the elderly.

Keywords: Natural Ventilation, Indoor air quality, Elderly Care Centers.

Publicações

Conferência Internacional Sobre Envelhecimento – CISE

Faculdade de Ciências Médicas 22 de Novembro de 2013

Nogueira, S; Sobreira, C; Aelenei, D; Viegas, J. (2013) *“Contribuição para o conhecimento da qualidade do ar interior em lares de idosos em Portugal. Determinação do teor de CO₂ e de taxas de ventilação.”*

Índice de texto

Capítulo 1 - Introdução

1.1	Enquadramento do tema.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura da Dissertação.....	2

Capítulo 2 - Estado do Conhecimento

2.1	Considerações gerais.....	5
2.2	Ventilação em edifícios.....	7
2.2.1	Objetivo	7
2.2.2	Ventilação Natural.....	7
2.2.2.1	Ação do vento	8
2.2.2.2	Ação térmica.....	9
2.2.2.3	Ação conjunta – vento e temperatura	10
2.2.3	Legislação Portuguesa Relativa a sistemas de ventilação natural.....	10
2.2.4	Taxas de ventilação	11
2.3	Qualidade do ar Interior.....	12
2.3.1	Poluentes	13
2.3.1.1	Dióxido de carbono (CO ₂).....	13
2.3.1.2	Monóxido de carbono (CO)	13
2.3.1.3	Compostos orgânicos voláteis totais (COV)	13
2.3.1.4	Partículas suspensas no ar (PM10)	14
2.3.1.5	Bioefluentes (odores).....	14
2.3.1.6	Formaldeído (CH ₂ O).....	14
2.3.1.7	Microrganismos.....	14
2.3.1.8	Vapor de água	15
2.3.2	Concentrações máximas.....	15
2.3.3	Avaliação da Qualidade do ar interior.....	16
2.3.3.1	Conforto.....	16
2.3.3.2	Síndrome de Edifício Doente.....	16
2.3.3.3	CO ₂ como indicador da QAI	17

Capítulo 3 - Metodologia

3.1	Considerações gerais.....	21
3.2	Caracterização dos edifícios.....	21
3.2.1	Metodologia de levantamento do edificado	21
3.2.2	Caracterização do ambiente interior	22
3.2.3	Metodologia de monitorização do ambiente interior	23
3.3	Medição das taxas de ventilação.....	24
3.3.1	Método do Gás traçador	24

3.3.2	Técnicas do decaimento e da emissão constante	24
3.3.3	Estimativa do valor de produção de dióxido de carbono	25
3.3.4	Metodologia para determinação da taxa de ventilação	25
Capítulo 4 - Resultados		
4.1	Análise das características construtivas dos edifícios	27
4.1.1	Época e tipo de construção	27
4.1.2	Localização/Envolvente Urbana	28
4.1.3	Estado de Conservação.....	30
4.1.4	Sistemas de Climatização.....	30
4.2	Análise das características dos quartos de dormir e das Salas de estar	33
4.3	Análise do ambiente interior.....	35
4.3.1	Generalidades	35
4.3.2	Salas de estar	35
4.3.3	Quartos de dormir - Geral	36
4.3.3.1	Grupo A	36
4.3.3.2	Grupo B	37
4.4	Análise das taxas de ventilação.....	38
4.4.1	Técnica de emissão constante ($R_{ph\ 1}$)	38
4.4.2	Técnica do decaimento ($R_{ph\ 2}$).....	40
4.4.3	Vento vs. Taxas de ventilação	41
Capítulo 5 - Conclusões		
5.1	Conclusões Gerais	43
5.2	Desenvolvimentos futuros	44
Referências Bibliográficas.....		45
ANEXO		49
7.1	Gráficos do Grupo A.....	49
7.2	Gráficos do Grupo B.....	64
7.3	Exemplo Checklist	72
7.4	Salas de Estar	78
7.5	Grupo A – Quartos de Dormir	79
7.6	Grupo B – Quartos de Dormir	81

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Relação entre parâmetros e QAI	6
Figura 2.2 - Fluxo de ar e zonas de pressões por ação do vento em corte e em planta (26)	9
Figura 2.3 - Fenómeno de ventilação por diferença de pressão devido à ação térmica (27)	9
Figura 2.4 - Sentido dos fluxos de ar devido à ação térmica (26)	10
Figura 2.5 - Relação entre concentração de poluente e taxas de ventilação	11
Figura 2.6 -O CO ₂ como indicador da qualidade do ar	19
Figura 3.1 - Sensor Termo-higromético	23
Figura 3.2 - Sensor CO ₂	23
Figura 4.1 - Época de construção do edificado.....	27
Figura 4.2 – Tipo de construção do edificado	27
Figura 4.3 - Localização dos Lares em Lisboa	28
Figura 4.4 - Fontes de Poluição	28
Figura 4.5 – Inserção Urbana do edifício	29
Figura 4.6 - Tipo de implementação	29
Figura 4.7 - Tipologia do edifício	29
Figura 4.8 - Edifício adaptado a Lar	29
Figura 4.9 - Utilização do Edifício.....	29
Figura 4.10 - Patologias construtivas dos edifícios.....	30
Figura 4.11 - Fonte de energia utilizada nos sistemas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios	30
Figura 4.12 - Sistema de aquecimento e arrefecimento dos edifícios	31
Figura 4.13 - Sistema de ventilação dos edifícios.....	31
Figura 4.14 - - Esquema de Janela de Batente	33
Figura 4.15 - Esquema de uma Janela de Correr.....	33
Figura 4.16 - Esquema de uma janela tipo Basculante	33
Figura 4.17 - Esquema de uma janela tipo Oscilo batente	33
Figura 4.18 - Resultados da medição do teor de CO ₂ das salas de estar	35
Figura 4.19 - Resultados da medição do teor de CO ₂ em quartos de dormir de Lisboa – Geral.	36
Figura 4.20- L1 Quarto individual	36
Figura 4.21 - Resultados da medição do teor de CO ₂ em quartos de dormir do Grupo A	37
Figura 4.22 Resultados da medição do teor de CO ₂ em quartos de dormir do Grupo B	37
Figura 4.23 - Resultados das taxas de ventilação obtidas através da emissão constante (Rph 1)	38

Figura 4.24 - Valores das diferenças entre o G calculado analiticamente e o estimado pelo método dos mínimos quadrados	39
Figura 4.25- Resultados das taxas de ventilação obtidas através da técnica do decaimento ...	40
Figura 4.26 - Velocidade do vento vs. Taxa de ventilação	41
Figura 7.1 - Gráfico G1	49
Figura 7.2 - Gráfico G2	49
Figura 7.3 - Gráfico G7	49
Figura 7.4 - Gráfico G12	50
Figura 7.5 - Gráfico G14	50
Figura 7.6 - Gráfico G15	50
Figura 7.7 - Gráfico G17	51
Figura 7.8 - Gráfico G19	51
Figura 7.9 - Gráfico G20	51
Figura 7.10 - Gráfico G24	52
Figura 7.11 - Gráfico G27	52
Figura 7.12 - Gráfico G31	52
Figura 7.13 - Gráfico G33	53
Figura 7.14 - Gráfico G38	53
Figura 7.15 - Gráfico G42	53
Figura 7.16 - Gráfico G45	54
Figura 7.17 - Gráfico G46	54
Figura 7.18 - Gráfico G48	54
Figura 7.19 - Gráfico G49	55
Figura 7.20 - Gráfico G51	55
Figura 7.21 - Gráfico G55	55
Figura 7.22 - Gráfico G56	56
Figura 7.23 - Gráfico G57	56
Figura 7.24 - Gráfico G60	56
Figura 7.25 - Gráfico G65	57
Figura 7.26 - Gráfico G66	57
Figura 7.27 - Gráfico G72	57
Figura 7.28 - Gráfico G73	58
Figura 7.29 - Gráfico G78	58
Figura 7.30 - Gráfico G79	58
Figura 7.31 - Gráfico G82	59
Figura 7.32 - Gráfico G83	59
Figura 7.33 - Gráfico G86	59
Figura 7.34 - Gráfico G92	60
Figura 7.35 - Gráfico G98	60
Figura 7.36 - Gráfico G99	60

Figura 7.37 - Gráfico G100.....	61
Figura 7.38 - Gráfico G102.....	61
Figura 7.39 - Gráfico G103.....	61
Figura 7.40 - Gráfico G105.....	62
Figura 7.41 - Gráfico G106.....	62
Figura 7.42 - Gráfico G109.....	62
Figura 7.43 - Gráfico G117.....	63
Figura 7.44 - Gráfico G6.....	64
Figura 7.45 - Gráfico G10.....	64
Figura 7.46 - Gráfico G11.....	64
Figura 7.47 - Gráfico G22.....	65
Figura 7.48 - Gráfico G23.....	65
Figura 7.49 - Gráfico G25.....	65
Figura 7.50 - Gráfico G28.....	66
Figura 7.51 - Gráfico G35.....	66
Figura 7.52 - Gráfico G37.....	66
Figura 7.53 - Gráfico G43.....	67
Figura 7.54 - Gráfico G53.....	67
Figura 7.55 - Gráfico G58.....	67
Figura 7.56 - Gráfico G61.....	68
Figura 7.57 - Gráfico G64.....	68
Figura 7.58 - Gráfico G69.....	68
Figura 7.59 - Gráfico G70.....	69
Figura 7.60 - Gráfico G75.....	69
Figura 7.61 - Gráfico G80.....	69
Figura 7.62 - Gráfico G85.....	70
Figura 7.63 - Gráfico G87.....	70
Figura 7.64 - Gráfico G89.....	70
Figura 7.65 - Gráfico G91.....	71
Figura 7.66 - Gráfico G96.....	71
Figura 7.67 - Gráfico G108.....	71

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Produção de vapor de água	15
Tabela 2.2 - Valores de concentração máxima de referência	15
Tabela 4.1 - Características dos vãos.....	34
Tabela 4.2 - Características do sistema de ventilação	34

Lista de abreviaturas

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

CO - Monóxido de Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

COVTs - Compostos Orgânicos Voláteis

DPOC - Doença pulmonar obstrutiva crónica

FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

GERIA - Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª

Idade de Portugal

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

OMS - Organização Mundial da Saúde

ppm – Partes por Milhão

QAI – Qualidade do Ar Interior

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios

SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios

SED – Síndrome de Edifício Doente

WHO – World Health Organization

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento do tema

A presença de pessoas por tempo prolongado em ambientes interiores expõe-nas aos poluentes que contaminem esse ar. Os utentes de lares de idosos, por estarem frequentemente numa condição mais débil e por permanecerem largos períodos de tempo no interior de edifícios, constituem um grupo de risco. A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto GERIA (Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal), numa fase em a recolha de dados já tinha terminado, desenvolvendo-se a análise desta informação recolhida.

O projeto GERIA pretende determinar o impacto da QAI na saúde, analisando os casos com DPOC - Doença pulmonar obstrutiva crónica (grupo de risco) e os casos sem DPOC (grupo de controlo

A QAI depende não só da existência e intensidade das fontes de poluentes (ocupação humana, emissões dos materiais, emissões dos equipamentos dos edifícios, etc.), como da ventilação dos locais (taxa de ventilação e eficácia da ventilação) e da qualidade do ar exterior, uma vez que na maioria dos casos o ar não é tratado antes da sua admissão nos edifícios. Note-se que os comportamentos humanos podem ter uma influência significativa na ventilação dos locais e, nalguns casos, no controlo das fontes de poluentes (1) (2). Diversos estudos têm revelado a existência de teores de CO₂ elevados em edifícios. Por exemplo, em escolas, tais níveis são causados quer pela elevada densidade de ocupação, quer pela insuficiente ventilação (3) (4) (5) (6). Este aspeto também tem sido reportado nas escolas portuguesas (7) (8), tendo sido constatado que a atividade das crianças contribui para um incremento das partículas em suspensão. Elevados teores de CO₂ surgem frequentemente associados a elevados teores de outros poluentes (9) (10). Tem sido igualmente reportada internacionalmente a existência de elevados teores de poluentes em creches e infantários (11) (12) (13), embora nalguns casos se indície que pode existir uma exposição ainda mais elevada a alguns poluentes em casa (13). Os estudos em lares de idosos são raros, especialmente por se acreditar que aí os problemas de qualidade do ar interior são menos importantes, por haver uma menor densidade de ocupação. Aí a motivação principal desses estudos é frequentemente a análise do conforto (14).

A medição do teor de CO₂, sendo este gás resultante do metabolismo humano, na ausência de outras fontes (por exemplo, a combustão) pode ser utilizada como uma forma de avaliar o grau de viciação do ar interior por origem antrópica. Documentos técnicos de divulgação internacional, como por exemplo a norma ASHRAE 62.1 (15), recomendam que o teor de CO₂ no ambiente interior não ultrapasse 700 ppm acima do teor no ar exterior, para que não sejam sensíveis para um visitante odores decorrentes do metabolismo humano. Está relacionado com este o limite de 1000 ppm (1800 mg/m³) considerado no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (16) para Portugal.

1.2 Objetivos

O projeto GERIA (Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal) tem por objetivo determinar o impacto da QAI na saúde, nesta dissertação serão apresentados os resultados da caracterização de edifícios utilizados para lares de idosos no que respeita em especial aos aspetos associados aos sistemas de ventilação.

Esta dissertação tem por objetivo avaliar as taxas de ventilação de quartos de lares de idosos. Apresentam-se também os resultados de medições de curta duração da concentração de CO₂ (30 minutos) realizadas em salas de estar durante o período diurno e de média duração (12 horas) realizadas em quartos de dormir. Foram utilizados os registos do teor de CO₂ para o cálculo das taxas de ventilação, quer no período noturno, quer no período de “arejamento” matinal dos quartos.

Para o cálculo das taxas de ventilação foi testado um novo método, em que o ajustamento da curva estimada, que exprime a evolução do teor de CO com o tempo, à curva experimental foi feita com duas variáveis (Taxa de ventilação e Caudal volúmico de emissão) em vez do ajustamento corrente de uma variável (Taxa de ventilação).

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação está estruturada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo pretende-se fazer o enquadramento geral do tema, explicando o objetivos principais da dissertação e qual a motivação.

No segundo capítulo apresentam-se os conceitos teóricos que suportam o processo de trabalho desenvolvido, abrangendo os seguintes temas: ventilação natural e qualidade do ar interior.

O terceiro capítulo focaliza-se na caracterização construtiva do edificado e na medição das taxas de ventilação, explicando a metodologia e técnicas utilizadas.

No quarto capítulo é feita a análise das características do edificado e das taxas de ventilação dos quartos de dormir e das salas de estar.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões gerais do trabalho, bem como um conjunto de estratégias de projeto que visam contribuir para a melhoria da ventilação dos espaços e da qualidade do ambiente interior. Este capítulo termina com sugestões para desenvolvimentos futuros que serão realizados nas próximas fases do projeto GERIA.

Capítulo 2

Estado do Conhecimento

2.1 Considerações gerais

Neste capítulo, apresenta-se um enquadramento da literatura científica de referência sobre a relação entre a ventilação, a qualidade do ar interior e a saúde dos humanos. Serão ainda apresentados os conceitos teóricos, que suportam a metodologia de trabalho desenvolvida, e que abordam questões específicas relacionadas com a ventilação natural de edifícios e a avaliação da qualidade do ar interior.

Os efeitos da ventilação na qualidade do ar interior e na saúde dos humanos é um assunto muito complexo. Sabe-se que a ventilação é essencial para remover ou diluir para uma concentração aceitável os poluentes gerados no interior dos edifícios. Mas visto que os valores limites não são conhecidos, é raro conseguir determinar as taxas de ventilações exatas baseado na concentração dos poluentes. A escolha das taxas de ventilação é baseado na investigação epidemiológica, experiências laboratoriais e “in situ” e na experiência prática.

A exposição a ambientes interiores com poluentes, pode causar uma variedade de efeitos. A intensidade desses efeitos varia, entre a simples olfação de odores desagradáveis até ao caso mais extremo como cancro. Estes efeitos podem manifestar-se quase espontaneamente ou desenvolverem-se ao longo do tempo. De seguida apresento alguns exemplos de efeitos causados com o ambiente interior. (17)

- A ventilação tanto pode diluir a concentração ou dispersar viros ou bactérias, provocando doenças infecciosas;
- Alguns micro-organismos podem desenvolver-se em aparelhos humidificadores, podendo causar pneumonias;
- Ambientes interiores muito húmidos estão associados a uma maior presença de micro-organismos, tais como bolor ou bactérias. Estes ambientes também estão associados a um aumento de alergias;
- Um aumento do risco de desenvolvimento de cancro está relacionado com ambientes com fumo de tabaco e produtos com radão na sua composição.

A relação entre os efeitos e a exposição a certos poluentes internos já foi comprovada, entre os quais, as doenças respiratórias (especialmente de crianças), alergias em casas com ácaros e irritação da membrana mucosa devido a exposição a metanal (formaldeído). Sabe-se que muitos químicos encontrados em ambientes interiores provocam irritações ou impulsos,

mesmo em baixas concentrações. Tal como foi apontado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) muitos dos sistemas sensoriais que reagem a irritações, encontram-se na superfície do corpo (18).

Por outro lado, no olfato a reação é quase imediata, mas também pode ocorrer uma certa habituação quando a exposição a odores é prolongada. Em suma os efeitos sensoriais constituem parâmetros importantes para o controlo da qualidade do ar interior.

É importante realçar que os efeitos sensoriais provocados pela exposição a certos poluentes, não estão necessariamente relacionados com a sua toxicidade, por exemplo, alguns poluentes nocivos tais como o radão ou o monóxido de carbono (CO) não são detetáveis sensorialmente.

Os efeitos sensoriais documentados são na maior parte dos casos multissensoriais e as mesmas sensações ou perceções podem ter origem em diferentes poluentes. O corpo humano associa diferentes sinais ambientais de modo a ter a perceção da qualidade do ar e verificar se estão confortáveis ou desconfortáveis. Contudo não se sabe como é que esta associação é feita, perceção da qualidade de ar está principalmente relacionado com a estimulação do nervo trigêmeo e olfativo. Por definição a noção de Conforto ou Desconforto é influenciado por fatores psicológicos mais complexos, por esta razão não é possível documentar sem ser isento, os sintomas relacionados.

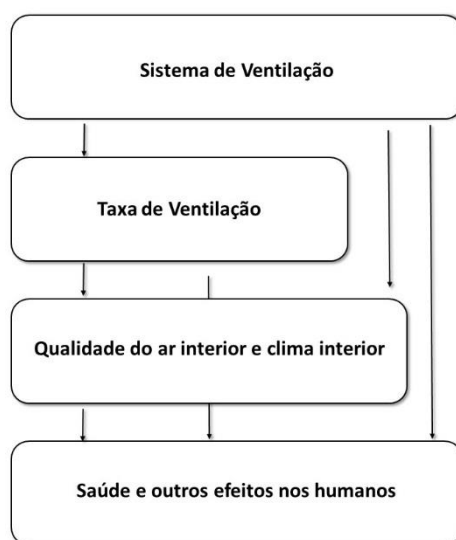


Figura 2.1 - Relação entre parâmetros e QAI

A informação sobre os efeitos da ventilação sobre a saúde é na maior parte dos casos obtida através de projetos experimentais. Os parâmetros incluídos nestas experiências são por exemplo, taxas de ventilação, sistemas de ventilação, fontes contaminadoras no interior e características físicas do espaço interior. Estes fatores provocam reações, funcionando em grupo ou independentemente. Tal como se pode ver na Figura 2.1.

2.2 Ventilação em edifícios

2.2.1 Objetivo

A ventilação dos espaços ocupados em edifícios, tem dois objetivos principais. O primeiro é garantir uma qualidade do ar interior (QAI) aceitável, que depende da entrada de ar fresco e da renovação ou diluição da concentração dos poluentes interiores. O outro é garantir o conforto térmico através de um mecanismo de transporte do calor. Ou seja a ventilação não tem como objetivo fornecer oxigénio aos ocupantes do edifício e a razão para tal prende-se com o facto de ser muito difícil baixar a concentração de oxigénio para níveis em que a sua saúde esteja em perigo. Tal como o oxigénio, o dióxido de carbono em condições normais dificilmente atinge concentrações gravesas, logo não é um dos fatores principais a ter em conta diretamente (19) (20) (21).

Contudo a concentração do Dióxido de Carbono é um indicador comum para a QAI pois está interligado com poluentes produzidos pelo corpo humano (odores e vapor de água) criando aquela sensação de “ar pesado”. O espaço com QAI ótimo pode ser definido como aquele em que o ar está livre de quaisquer poluentes que causam irritações, desconforto ou doenças nos ocupantes (19) (20) (21).

2.2.2 Ventilação Natural

Segundo o RSECE (16), a ventilação natural é a renovação do ar interior por ar novo exterior, recorrendo apenas a aberturas na envolvente com área adequada, reguladas manualmente ou autocontroladas através de mecanismos naturais do vento e do movimento de ar devido a diferenças de temperatura. Esta renovação através da introdução de ar limpo e extração de ar viciado deve ocorrer, preferencialmente, de forma controlada, através de fluxos de ventilação, contudo a ventilação pode ser perturbada por fluxos de ar parasitas, com origem em infiltrações de ar ou da ação de equipamentos não contemplados no RSECE. De modo de assegurar um ambiente interior adequado à permanência de ocupantes, os caudais contabilizados nos fluxos de ventilação devem satisfazer as necessidades de ventilação, que dependem do padrão de ocupação, da atividade praticada no edifício e dos materiais existentes no interior. A admissão de ar limpo, procede-se maioritariamente através de aberturas dedicadas fixas ou reguláveis, situadas na envolvente. (16)

Para além deste modo principal de admissão de ar, também é comum ocorrerem entradas de ar através de infiltrações na envolvente, através de todo o tipo de frinchas como por exemplo, juntas entre elementos construtivos, fendas em caixilhos de janelas e portas e caixas de estore. (22)

As infiltrações de ar dependem das condições climatéricas, características construtivas e idade dos edifícios. Em Portugal até à introdução do RSECE as soluções construtivas utilizavam uma estratégia de ventilação natural, baseado apenas na infiltração de ar através de aberturas

não intencionais na envolvente do edifício. Esta ventilação era geralmente muito fraca, sendo normalmente necessário complementar com a abertura de janelas, de modo a aumentar os caudais de ar novo. Esta solução muito enraizada nos costumes portugueses, é simples e de custo nulo, adaptando-se assim ao contexto português, pois o clima é ameno e não envolve custos de instalação, manutenção ou de consumo de energia. Porém, esta técnica apresenta várias desvantagens, uma vez que, os caudais e o padrão de escoamento são variáveis, pois dependem das diferenças de pressão, resultantes da variação do vento e da temperatura, parâmetros naturais que oscilam constantemente face às condições meteorológicas. É importante referir que, a estratégia de ventilação por infiltrações não ser a mais correta, pois as trocas de ar ocorrem sem controlo quantitativo dos caudais, podendo gerando assim desconforto nos ocupantes, com o surgimento de correntes de ar e perdas energéticas durante a estação de aquecimento. (19) (21)

Para que a ventilação natural ocorra, é necessário que exista uma diferença de pressões entre duas zonas distintas, provocada principalmente por duas ações, o vento e a temperatura ou ambas as ações em simultâneo. Esta diferença de pressões, origina um fluxo de ar, das zonas de pressão mais elevada para as de pressão mais baixa, sendo condicionado pela resistência à passagem do ar das aberturas e frinchas do edifício. (20) (23)

Nos pontos seguintes é feita uma análise mais aprofundada, a cada uma das ações que dão origem à diferença de pressões.

2.2.2.1 Ação do vento

Nas camadas mais baixas da atmosfera, o vento é determinado por variações aleatórias da velocidade pelo que é normalmente caracterizado por um valor médio de velocidade e de direção para um determinado intervalo de tempo.

A ação eólica na ventilação natural, depende de sobretudo de dois fatores:

- Intensidade do vento, que está condicionada pelo local e pela envolvente exterior ao edifício;
- Distribuição de pressões na fachada, que depende da forma do edifício e da sua orientação relativamente ao rumo do vento.

A interação do vento num edifício, promove a alteração no campo de velocidades do ar originado assim uma distribuição de pressões não uniforme. De forma geral ocorrem pressões positivas nas fachadas em que incide o vento (barlavento), e pressões negativas nas fachadas opostas (sotavento) e também como nas fachadas laterais como representado na Figura 2.2, provocando assim a deslocação de ar no sentido da pressão mais alta para a mais baixa, ou seja o ar entra no edifício pelas aberturas a barlavento e sai através de aberturas localizadas no sotavento como ilustrado na Figura 2.2. Em suma, nestas condições o fluxo de ar que atravessa as aberturas de um edifício, depende da diferença de pressões entre o barlavento e o sotavento. (24) (25)

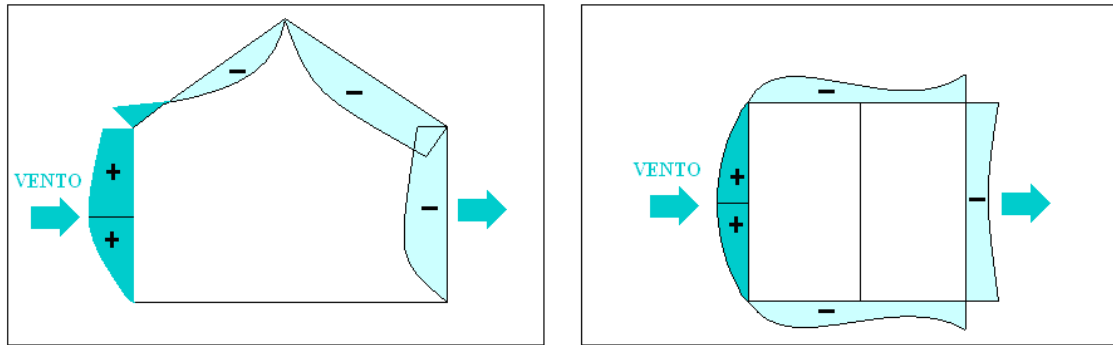


Figura 2.2 - Fluxo de ar e zonas de pressões por ação do vento em corte e em planta (26)

2.2.2.2 Ação térmica

De modo a que a ação térmica influencie a ventilação natural, é necessário que exista uma diferença de temperatura entre o exterior e o interior para que se estabeleça um fluxo de ar. Este fluxo está associado à diferença de valores de densidade do ar, em que o ar mais quente é mais leve comparativamente ao frio, logo, quando a temperatura do ar interior é superior à do exterior, o ar interior tende a sair do edifício pelas aberturas localizadas a uma cota superior, sendo este ar substituído por ar exterior a uma temperatura mais baixa, admitido através de aberturas localizadas a uma cota inferior à das aberturas de extração. Na distância entre aberturas, existe um ponto no qual a diferença de pressões é nula, isto é quando as pressões no exterior e interior se igualam, a este ponto designa-se de linha neutra, como demonstrado na Figura 2.3. (21)

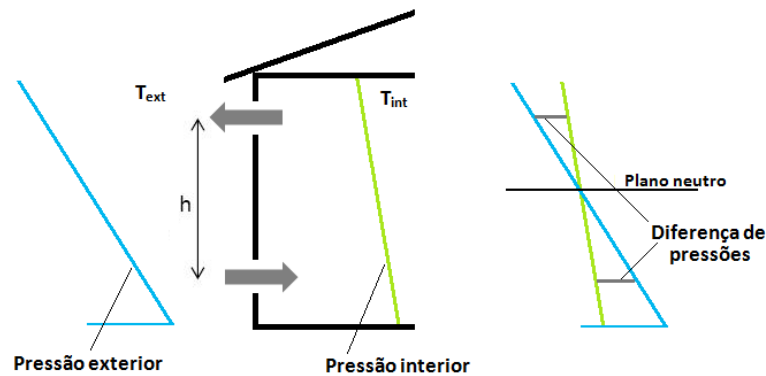


Figura 2.3 - Fenómeno de ventilação por diferença de pressão devido à ação térmica (27)

Este fluxo de ar é conhecido como “efeito chaminé” e é proporcional à diferença de temperatura entre o interior e o exterior e à distância entre as duas aberturas referidas anteriormente. Quando a temperatura do ar interior é superior à do ar exterior, verifica-se um fluxo de ar no sentido ascendente e no sentido inverso, quando se verifica uma temperatura superior no exterior, como ilustrado na Figura 2.4. Ou seja, durante a estação de aquecimento, o efeito de chaminé é induzido pelo calor libertado pelo eventual sistema de aquecimento, existente no interior do edifício, ou mesmo pelo calor libertado por equipamentos e ocupantes do edifício. Nos restantes períodos do ano, admite-se que a ação do vento é suficiente para assegurar a taxa de renovação do ar no edifício. (21)

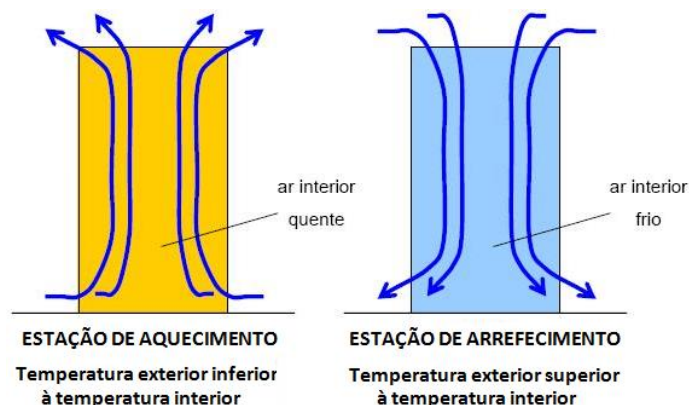


Figura 2.4 - Sentido dos fluxos de ar devido à ação térmica (26)

2.2.2.3 Ação conjunta – vento e temperatura

A ação conjunta das duas ações apresentadas anteriormente, tem que ser tida em conta na conceção dos sistemas de ventilação natural, sendo necessário assegurar que estas duas ações se complementam, tentando evitar assim situações em que se anulem uma à outra. É muito difícil prever quais são os caudais de ventilação desta ação conjunta, sabendo apenas que ou serão demasiado fracos ou demasiado fortes. É de notar que a ação térmica só promove a ventilação natural, quando existe um diferencial térmico superior a 8 °C, situação que não é a mais usual em Portugal, logo a ação do vento costuma ser a ação predominante para garantir a renovação do ar interior nos edifícios. (21)

2.2.3 Legislação Portuguesa Relativa a sistemas de ventilação natural

A legislação portuguesa adotada como referências em sistemas de ventilação natural, compreende os seguintes documentos:

- SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios (Portaria n.º66/2014)
- RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, estabelece a taxa de referência para a renovação do ar nas frações autónomas dos edifícios de habitação em 0,6 h⁻¹, como garantia da qualidade do ar interior.
- RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços (2013).
- NP 1037-1 - Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás, que como objetivo definir as regras de projeto dos sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, e quantifica as exigências de ventilação através de caudais-tipo, estabelecidos com base em critérios de qualidade do ar interior.

É de salientar que antes da publicação desta norma, a conceção dos sistemas de ventilação natural baseava-se no conjunto de recomendações contidas na publicação do LNEC, “Ventilação Natural de Edifícios de Habitação”.

2.2.4 Taxas de ventilação

A taxa de ventilação de um edifício é normalmente traduzida em termos de caudal volúmico de ar, ou caudal volúmico de ventilação, Q , expresso em l.s^{-1} ou $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$. Atualmente considera-se a ventilação como o processo de providenciar a renovação de ar aos ocupantes de um edifício mais do que ao edifício propriamente dito, com o objetivo de assegurar uma boa qualidade de ar com o mínimo custo e impacte ambiental. Assim, é também muito utilizado o conceito de caudal volúmico de ventilação por pessoa.

$$R_{ph} = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Com:

- R_{ph} : número de renovações horárias [h^{-1}];
- Q : caudal volúmico de ventilação [$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$];
- V : volume efetivo do espaço [m^3].

Outro indicador usual na quantificação da taxa de ventilação de espaços interiores é o número de renovações horárias, R_{ph} . Este indicador, que será utilizado no presente trabalho, é também designado na literatura por taxa de renovação horária ou simplesmente, renovação horária. O número de renovações horárias está relacionado com o caudal volúmico de ventilação.

A renovação horária pode ser entendida como o número de vezes que o ar de um espaço é renovado em cada hora. No entanto, dizer que a renovação horária é igual a 1 h^{-1} significa que o volume total de ar exterior que passa pelo espaço fechado numa hora é igual ao volume desse espaço e não necessariamente que todo o ar interior seja completamente renovado.

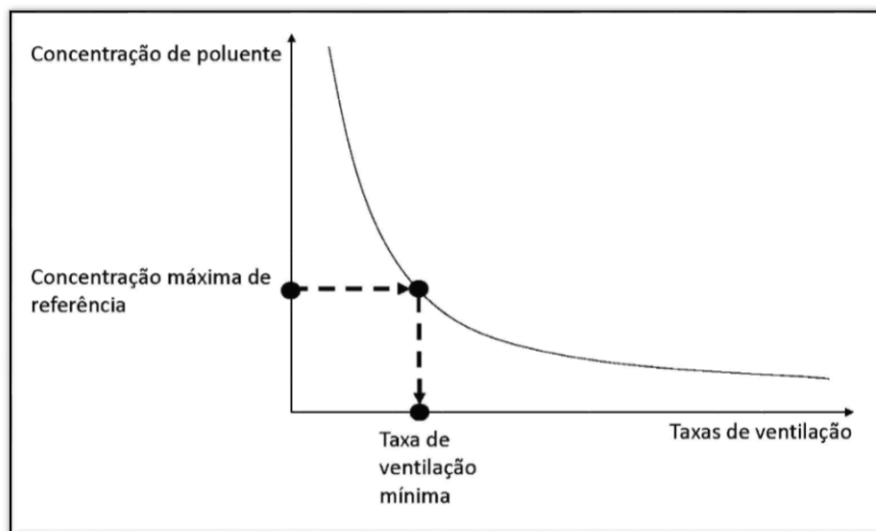


Figura 2.5 - Relação entre concentração de poluente e taxas de ventilação

Num edifício/compartimento naturalmente ventilado a renovação horária pode sofrer grandes variações diárias, chegando a registar-se alterações de 1 para 3, devidas apenas a alterações nas condições atmosféricas. Como é evidente, sempre que há abertura das janelas

ou das portas, o valor da R_{ph} aumenta significativamente. Por estes motivos, um valor de R_{ph} determinado num intervalo de tempo sob condições definidas é válido apenas para o intervalo de tempo em que decorreu a medição, sendo designado como renovação horária efetiva, não sendo correto admitir a sua generalização a outros períodos de tempo, ainda que semelhantes.

2.3 Qualidade do ar Interior

Como foi referido nos capítulos anteriores, a ventilação tem um papel fundamental na reposição e manutenção da concentração adequada de oxigénio para a respiração dos humanos e para o funcionamento dos aparelhos de combustão. Por outro lado, assume uma função determinante ao permitir assegurar as adequadas condições higrotérmicas e a boa qualidade do ar interior dos edifícios pela diluição e remoção das substâncias poluentes.

Como é sabido, as substâncias químicas produzidas pelas pessoas e suas atividades essenciais, pelos materiais de construção e pelos equipamentos dos edifícios podem estar na origem da diminuição da qualidade do ar interior nos edifícios. Nos últimos anos, ao mesmo tempo que se procedeu à diminuição progressiva da taxa de renovação do ar das habitações, verificou-se uma crescente aplicação de novos materiais de construção e de equipamentos em todos os tipos de edifícios (edifícios residenciais, comerciais ou escritórios, escolas e hospitais). Sendo conhecido o facto de alguns dos novos materiais de construção e equipamentos de interiores (incluindo os próprios sistemas de aquecimento e ar condicionado) constituírem fontes de diversas substâncias poluidoras, é importante definir estratégias de ventilação adequadas à preservação dos níveis de QAI.

A melhor estratégia para melhorar a QAI consiste na eliminação das fontes de substâncias poluidoras tal como já era defendido pelo cientista alemão Pettenkofer, que afirmava em meados do século dezanove: “Se existe um monte de estrume num espaço, não recorra à ventilação para remover o cheiro, remova o monte de estrume”, Quando esta estratégia não dá resultados satisfatórios, a melhoria da QAI deve ser realizada através do controlo das taxas de concentração dos poluentes, com recurso a ventilação. (23)

A primeira parte do presente capítulo é dedicada à análise das principais substâncias poluentes do ar interior e dos seus efeitos na saúde e conforto dos ocupantes. Posteriormente, são feitas algumas considerações sobre os métodos normalmente utilizados para a avaliação da qualidade do ar interior num edifício e sobre a determinação do caudal de ventilação adequado à satisfação simultânea de critérios de saúde e de conforto dos seus ocupantes. É analisada em particular a utilização do dióxido de carbono produzido pelos ocupantes dos compartimentos como indicador da qualidade do ar interior.

2.3.1 Poluentes

2.3.1.1 Dióxido de carbono (CO₂)

O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro, que é produzido principalmente através do metabolismo humano, outras fontes comuns são os fogões, esquentadores, caldeiras e as lareiras.

Este poluente foi selecionado é muito utilizado como indicador da QAI, através do grau de viciação do ar e cálculo de taxas de ventilação.

A concentração de CO₂ no ar interior é usada, sob determinadas circunstâncias, como um indicador de grau de viciação do ar. A concentração média de CO₂ na atmosfera pode variar muito, consoante a localização, características da envolvente urbana e condições climáticas (temperatura, humidade e velocidade do vento). No interior a concentração depende do caudal de ventilação e das fontes de contaminação interiores, tais como: queima de combustíveis fósseis, atividades desenvolvidas e número de ocupantes, sendo o limite máximo de referência 1800mg/m³ (1000ppm).

Quando a concentração de CO₂ regista valores superiores ao limite de referência, são frequentes sintomas tais como: dores de cabeça, cansaço, dificuldade de concentração e náuseas. (18) (16) (28)

2.3.1.2 Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono é um gás, incolor, inodoro, não irritante e extremamente tóxico. Tem como principais fontes de contaminação, vias de tráfego rodoviário intenso, estacionamento de veículos motorizados, aquecedores a gás não ventilados e fumo de tabaco

Quando em contacto com humanos, o gás combina-se com a hemoglobina do sangue e reduz o transporte de oxigénio para as células do corpo.

Quando a concentração de monóxido de carbono regista valores superiores ao limite de referência, são frequentes sintomas tais como: dores de cabeça, cansaço, diminuição do estado de vigília, náuseas, fadiga, respiração ofegante e dor no peito. (18) (16) (28)

2.3.1.3 Compostos orgânicos voláteis totais (COV)

Os compostos orgânicos voláteis totais são todos os compostos químicos de carbono, com um ponto de ebulição à pressão normal, suficientemente baixo para que a sua vaporização a temperatura ambiente seja rápida. Tem como principais fontes de contaminação: materiais de construção, mobiliário, fotocopiadoras (toner), produtos de limpeza, etc.

Quando a concentração de compostos orgânicos voláteis registam valores superiores ao limite de referência, são frequentes sintomas tais como: irritação da garganta, dores de cabeça, distúrbios visuais, lesões no fígado e rins e o aumento do risco de desenvolvimento de cancro. Se a concentração for muito elevada, estes compostos químicos funcionam como narcóticos potentes, podendo provocar alterações a nível do sistema nervoso central. (18) (16) (28) (19)

2.3.1.4 Partículas suspensas no ar (PM10)

Estas partículas são definidas como matéria sólida ou líquida em suspensão no ar, com um diâmetro entre 0.005 e 100 µm. Algumas das fontes de contaminação são: poeira, fumo, grãos de pólen, bactérias, tapetes, filtros de AVAC, etc. Quando as concentrações de PM10 atingem níveis excessivos podem causar reações alérgicas, tais como olhos secos, irritações de nariz e pele, tosse, espirros e dificuldade respiratórias. (18) (16) (28)

2.3.1.5 Bioefluentes (odores)

Os odores são resultantes dos bioefluentes humanos (e animais) e das atividades inerentes associadas à ocupação de um espaço como preparação de alimentos, produção de lixo e utilização das instalações sanitárias. O odor corporal é emitido pelo suor e por secreções sebáceas através da pele e do sistema digestivo. Apesar da sensação de odores não ser agradável normalmente não afeta diretamente a saúde dos ocupantes de um espaço.

A relação entre os níveis de percepção de odores pelos ocupantes e a qualidade de ar interior de um edifício será desenvolvida na secção seguinte. (18) (16) (28)

2.3.1.6 Formaldeído (CH₂O)

O formaldeído é um gás incolor que pode ser inalado, ingerido ou absorvido através do contacto com a pele. Após estar no interior do corpo reage com os tecidos constituídos por hidrogénio, danificando-os. Atualmente é classificado pela Agência Internacional para Pesquisa sobre Cancro (IARC) como um agente carcinogénico.

Tal como os compostos orgânicos voláteis, os materiais mais recentes tem emissões mais elevadas devido à presença de moléculas de formaldeído livre. As principais fontes de contaminação são materiais de construção, aglomerados de madeira, resinas, colas, mobiliário de madeira, pavimentos e revestimentos, etc.

Quando as concentrações de formaldeído regista valores superiores ao limite de referência, são frequentes sintomas tais como: dores de cabeça, fadiga, garganta seca ou dorida, problemas de memória e concentração. (18) (16) (28)

2.3.1.7 Microrganismos

A contaminação com microrganismos, nomeadamente fungos (bolores e leveduras) e bactérias pode constituir um grave risco para a saúde. Principalmente bactérias como a Legionella, que podem ser um fator de risco para a QAI. O número excessivo de fungos ou a sua presença pode afetar o bem-estar e a saúde dos humanos.

A concentração de microrganismos depende da renovação do ar e das fontes de contaminação. As principais fontes de contaminação são, entradas de ar junto a ninhos de aves, nível de humidade elevada, infiltrações de água, materiais de construção, revestimentos, números de ocupantes, etc.,

Os principais problemas que ocorrem quando os humanos são expostos a microrganismos são, Irritação (nariz, olhos e pele), reações alérgicas (asma e rinite), infeções (pneumonias, tuberculoso, doença do legionário) e reações tóxicas (microtoxinas). (18) (16) (28)

2.3.1.8 Vapor de água

O vapor de água é um constituinte do ar, sendo variável a sua proporção. No que diz respeito ao ar interior, a quantidade de vapor de água presente no ar depende em grande medida do metabolismo das pessoas e das atividades distintas realizadas no respetivo espaço. No quadro seguinte estão indicadas algumas das atividades mais comuns realizadas no interior das habitações e a correspondente produção de vapor de água em g/dia.

Tabela 2.1 – Produção de vapor de água (29)

Actividade	Vapor de água (kg/dia)
Adulto a dormir (por pessoa)	0,96
Adulto em actividade (por pessoa)	1,2
Cozinhar a electricidade	2
Cozinhar a gás	3
Lavar os pratos	0,4
Tomar banho (por pessoa)	0,4
Lavar roupa	0,5
Secar roupa no interior (por pessoa)	1,5

Se o vapor de água *per se* não representa risco para a saúde dos ocupantes, há estudos que mostram que quanto mais baixa for a humidade relativa do ar de um espaço melhor será a percepção de qualidade do ar dos seus habitantes. No entanto, uma humidade relativa baixa está associada ao aumento dos riscos de infeções das vias respiratórias ao passo que níveis altos de humidade relativa podem causar desconforto relacionado com o suor. (18) (16) (28) (20)

2.3.2 Concentrações máximas

Em Portugal, as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios são fixadas por lei. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios de 4 de Abril de 2006, RSECE estabelece os valores limite para sete tipos de poluentes. (16). A nível internacional esses valores são fixados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Esses valores são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Valores de concentração máxima de referência

Parâmetros	Concentração máxima de referência	
	Portuguesa ^a	Internacional
Partículas Suspensas no Ar - PM10 (mg.m ⁻³)	0,15	0,05 ^b
Dióxido de Carbono (mg.m ⁻³)	1800	1080 ^c
Monóxido de Carbono (mg.m ⁻³)	12,5	7 ^b
Formaldeído (mg.m ⁻³)	0,1	0,1 ^b
Compostos Orgânicos Voláteis (mg.m ⁻³)	0,6	0,2 ^d
Microrganismos - Bactérias (UFC)	500	500 ^b
Microrganismos - Fungos (UFC)	500	300 ^e

^a RSECE Decreto-Lri n.º79/2006

^b WHO 2010

^c ECA 1997

^d Burton 1995

^e Robertson 1997

2.3.3 Avaliação da Qualidade do ar interior

2.3.3.1 Conforto

O ser humano possui duas capacidades distintas para perceber a qualidade do ar: o sentido do olfato da cavidade nasal e a sensibilidade das mucosas do nariz e dos olhos. A combinação destas duas capacidades permite que o ser humano se aperceba se o ar inalado é “fresco” e agradável ou “pesado” e irritante.

Nas décadas de vinte e trinta do século vinte, o cientista Yaglou realizou medições sensoriais com vários grupos de pessoas, com o objetivo de usar diretamente as suas respostas sensoriais para avaliar a qualidade do ar interior (23). Com o mesmo intuito de comprovar que a percepção da qualidade do ar interior depende do odor e das propriedades irritantes do ar, foram desenvolvidos estudos por Fanger em 1998 (23), cujos resultados lhe permitiram desenvolver unidades de medida para quantificação das respostas sensoriais: o “olf” para a quantidade de poluição libertada e o “decipol” (dp) para o nível de poluição perceptível. Por definição, um olf é a quantidade de poluição produzida por uma pessoa padrão (atividade sedentária e com sensação térmica neutra). A intensidade de todas as fontes de poluição (sob o ponto de vista sensorial da qualidade do ar) pode ser expressa em número de pessoas equivalente (olf), ou seja, o número de pessoas padrão necessário para criar uma atmosfera em que a percentagem de insatisfeitos seja igual à da fonte de poluição a caracterizar. O decipol (dp) é definido como a quantidade de poluição libertada por uma pessoa padrão sujeita a um caudal de ventilação de 10 l.s⁻¹ de ar não poluído (25) (30).

2.3.3.2 Síndrome de Edifício Doente

A expressão “Síndrome de Edifício Doente” (SED) é sinónimo de fraca qualidade do ar interior e nas últimas décadas, um grupo extenso de profissionais (Médicos, engenheiros, arquitetos, etc.) procuram identificar a causa desta patologia nos edifícios.

A fraca qualidade do ar interior afeta os humanos essencialmente:

- Conforto: ambientes abafados ou odoríferos;
- Efeitos agudos na saúde: ardor nos olhos, sintomas na zona do peito, transmissão aérea de doenças;
- Efeitos Crónicos na saúde
- Produtividade

Os edifícios que tem influência negativa na saúde e bem-estar dos ocupantes são denominados “Edifícios Doentes”. As características principais associadas a este tipo de edifícios, são a falta de renovação de ar fresco e sistemas de ventilação deficientes. Para além

da poluição gerada exteriormente (emissões de veículos, fábricas, aerossóis, etc.), que é transportada através da ventilação para o interior do edifício, existem vários poluentes que estão presentes no ar interior. Algumas das fontes destes poluentes interiores são, os materiais do próprio edifício, mobília, seres vivos e equipamentos. (28)

Os problemas relacionados com a qualidade do ar interior têm vindo a aumentar nas últimas décadas, devido principalmente às seguintes causas:

- Diminuição da permeabilidade ao ar.
- Redução das taxas de ventilação de forma a reduzir consumos energéticos.
- Aumento do uso de equipamentos elétricos em escritórios.
- Aumento do uso de sistema de ar condicionado.
- Falta de manutenção.
- Aumento do uso de mobílias com taxas elevadas de emissão de poluentes.

Na maior parte dos casos a concentração dos poluentes encontra-se abaixo dos TLV's, logo é difícil mostrarem efeitos imediatos, contudo os efeitos a longo prazo normalmente são desconhecidos.

O que se tem evidenciado nos edifícios com má qualidade do ar interior é que a sua ventilação também é débil, não significando necessariamente que tenham falta de abastecimento de ar mas sim que esse abastecimento é feito com ar já contaminado. De facto existem estudos efetuados em edifícios com ventilação natural e mecânica que demonstram que existem mais queixas relacionadas com SED (tais como bloqueio nasal, garganta seca, dores cabeça e rinites). Crê-se que estas queixas estão relacionadas com poluentes produzidos no interior do edifício de origem material (materiais de construção, mobília e equipamentos) e não com origem humana. Comprovando assim que a pior QAI em edifícios com sistemas de ventilação mecânico, está intrinsecamente relacionada com a fraca manutenção dos sistemas de ventilação. (18)

2.3.3.3 CO₂ como indicador da QAI

A concentração do dióxido de carbono produzido pelos ocupantes dos compartimentos é frequentemente utilizada como indicador da qualidade do ar interior, ainda que por vezes seja usada em situações em que não pode ser estabelecida uma associação específica.

Seguidamente, aborda-se a relação entre a concentração de CO₂ e a QAI de um edifício ou de um compartimento, segundo quatro vertentes:

- Efeitos na saúde provocados pela ocorrência de concentrações elevadas de CO₂;
- Impacte da concentração de CO₂ na perceção que os ocupantes têm da QAI;
- Relação entre a concentração de CO₂ e a concentração de outras substâncias poluidoras;
- Relação entre a concentração de CO₂ e a taxa de ventilação do edifício.

Relativamente aos efeitos na saúde dos ocupantes, é atualmente sabido que o dióxido de carbono tem uma reduzida toxicidade nas concentrações em que geralmente está presente nos espaços interiores. O valor de referência, considerando uma média temporal ponderada para 8 h de exposição e uma semana de trabalho de 40 h, é de 5000 ppm, sendo que o valor limite

para períodos de curta exposição de 15 minutos é de 30000 ppm, (15). Outros estudos, porém, indicam o valor de 5000 ppm como demasiado elevado. (20)

No que respeita à associação entre a percepção que os ocupantes têm da qualidade de ar interior e a concentração de CO₂, devem ser considerados três níveis de abordagem:

- Impacte que o CO₂ *per se* tem na percepção de conforto por parte dos ocupantes;
- Relação existente entre a concentração de CO₂ e a concentração de outros poluentes;
- Relação entre a concentração de CO₂ e a ventilação do espaço.

Quanto ao primeiro aspeto, alguns investigadores indicam uma associação entre concentrações de CO₂ acima de 1000 ppm e a percepção do respetivo ambiente como do tipo “pesado”, entre outros indicadores de desconforto e irritação. (15) Atualmente, para efeitos de conforto no que diz respeito aos odores dos bioefluentes humanos, a norma 62 da ASHRAE recomenda um valor limite de concentração de CO₂ de 700 ppm acima do valor registado no exterior. Para uma concentração exterior de 350 ppm, o valor recomendado equivale a uma concentração interior de 1050 ppm. (15)

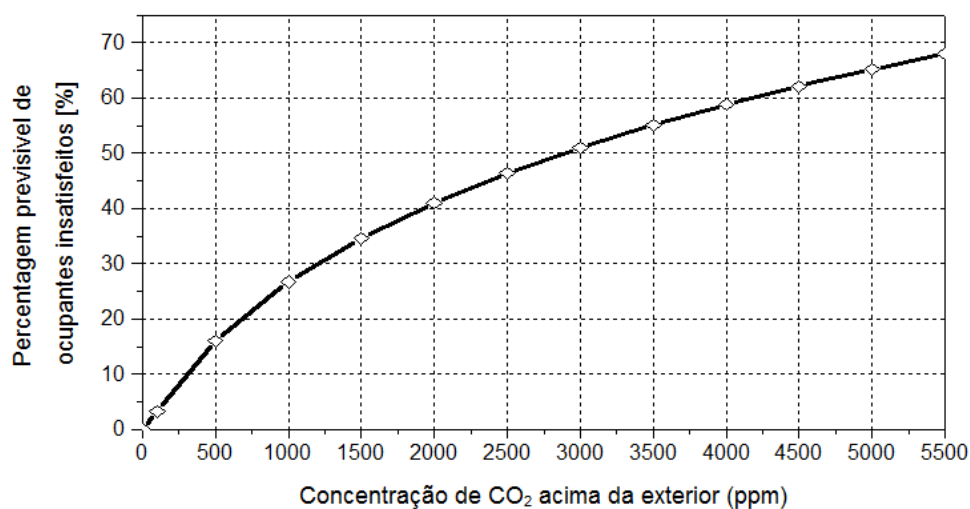
Na legislação portuguesa, o valor de referência definido pelo RSECE para a concentração máxima de CO₂ é 1000 ppm.

No que respeita à existência ou não de uma relação entre a concentração de CO₂ e a concentração de outras substâncias poluidoras do espaço interior, isso depende obviamente das características de fontes emissoras. Como foi referido anteriormente, a taxa de produção de CO₂ pelos ocupantes dum espaço depende do número e tamanho dos ocupantes bem como da intensidade da sua atividade física. O CO₂ é portanto um bom indicador da concentração de outros poluentes nas situações em que a taxa de produção destes for também proporcional à ocupação do espaço. No entanto, muitas das substâncias poluidoras do espaço interior são produzidas a uma taxa que não é proporcional à ocupação do espaço ou que nem sequer depende dela. É o caso das substâncias emitidas pelos materiais de construção e mobiliário, do monóxido de carbono, CO, e dos poluentes provenientes do ar exterior, cuja concentração não pode ser relacionada com a concentração de CO₂. Este facto é limitativo da utilização do CO₂ como indicador da QAI. No entanto, em espaços com ocupação sedentária e nos quais a fonte poluente é exclusivamente o metabolismo humano foi constatada uma correlação entre a concentração de CO₂ do espaço e o índice de aceitabilidade do espaço em termos de odor dos bioefluentes humanos. (19) (15)

A relação entre a qualidade do ar interior de um espaço e a percentagem previsível de ocupantes recém-chegados insatisfeitos com base na concentração de CO₂ como indicador dos bioefluentes, pode ser traduzida pela expressão: (19) (15).

$$PD = 395. e^{(-15,15.C_{CO_2}^{-0,25})} \quad (3.1)$$

Em que representa a concentração de CO₂ acima da concentração exterior. Esta expressão é válida para espaços com ocupação sedentária e nos quais a fonte de poluição é exclusivamente o metabolismo humano. Esta relação encontra-se representada na Figura 2.6.

Figura 2.6 -O CO₂ como indicador da qualidade do ar

Da observação da Figura 2.6 constata-se que a concentração de CO₂ não deve exceder 700 ppm acima da concentração exterior, para que pelo menos 80% de pessoas recém-chegadas ao espaço considerem aceitável o nível dos odores corporais humanos.

A monitorização contínua da concentração interior de CO₂ de um espaço permite também avaliar a ocorrência de “picos” de concentração e estabelecer um padrão de ocupação do espaço. As variações nos valores de concentração possibilitam tirar conclusões sobre as entradas e saídas dos ocupantes e do nível e tempo de ocupação. No capítulo 4, será feita uma análise detalhada da concentração de CO₂ produzido pelos ocupantes nos compartimentos de forma a determinar as taxas de ventilação.

Capítulo 3

Metodologia

3.1 Considerações gerais

No âmbito do projeto GERIA, foi feita uma análise transversal de um estudo longitudinal, em que, através da Carta Social, foram escolhidos aleatoriamente 33 lares de Lisboa e avaliados os seus residentes que tenham consentido participar e capazes de responder a um questionário. Para a componente da saúde, procedeu-se à avaliação da saúde respiratória e da perceção de saúde em geral, por inquirição e recolha de informação dos processos dos participantes. No âmbito da análise da ventilação e da qualidade do ar interior, foi feito o levantamento das características do parque edificado e a medição da concentração de dióxido de carbono, da temperatura e da humidade relativa, em salas de estar e em 2 quartos de cada lar.

Esta dissertação desenvolve-se numa fase posterior a este levantamento, incidindo na análise e tratamento dos dados obtidos, especialmente nos valores das medições de CO₂.

3.2 Caracterização dos edifícios

3.2.1 Metodologia de levantamento do edificado

Este levantamento tinha por objetivo permitir avaliar as características construtivas e de utilização dos lares de idosos que poderiam condicionar a ventilação e a qualidade do ar interior. O levantamento das condições construtivas foi realizado sempre pelo mesmo operador de forma a assegurar a uniformidade do preenchimento. Foi acompanhado por registo fotográfico e pela medição do teor de CO₂, temperatura e humidade relativa. Este levantamento, feito através de uma checklist que se encontra em anexo, estava subdividido em grupos temáticos relativamente aos quais foram definidas as seguintes características:

- Informação geral – Identificação, Caracterização genérica do edifício (Tipo de edifício, Número de pisos, Implantação, Ano de construção, Ocupação do edifício, Área total e Área climatizada) e Inserção (Caracterização da zona envolvente e Fontes de poluição);
- Ocupação – número de utentes a residir na instituição.

- Caracterização da envolvente do edifício – Paredes, Cobertura, Caixilharia (Material, Preenchimento, Modo de abertura das folhas móveis e Junta móvel) e Proteção solar;
- Ventilação do edifício – Mecânica (VMC, Local), Natural (Características de admissão e Características de exaustão) e Mista (Características de admissão e Características de exaustão);
- Climatização do edifício – Estratégia e Combustível utilizado;
- Aquecimento de águas sanitárias - Tipo de aparelho e Localização do aparelho;
- Cocção de alimentos – Local e Combustível;
- Outras fontes de poluentes - Data da realização de obra de melhoramento das instalações e Outras fontes de poluentes;
- Patologias relacionadas com o aparecimento de fungos e/ou bolores;
- Práticas dos utilizadores – Climatização (Aquecimento e arrefecimento), Ventilação (Inverno, Primavera/Outono e Verão);
- Opinião dos utilizadores – Climatização e Perceção da qualidade do ar.

3.2.2 Caracterização do ambiente interior

A caracterização do ambiente interior foi realizada através de parâmetros físicos (temperatura e humidade relativa) e parâmetros químicos (dióxido de carbono CO₂). Para determinar as condições de conforto termo-higrométrico foram registados os valores de temperatura e humidade relativa interior e exterior.

Para a medição da temperatura e humidade relativa do ar foi usado um termo-higrómetro digital, modelo *Oregon Scientific* THGR328N (Figura 3.1). A concentração de dióxido de carbono no exterior e no interior foi medida usando um detetor por absorção não-dispersiva de infravermelhos, modelo *Telaire 7001* (Figura 3.2).



Figura 3.1 - Sensor Termo-higrométrico



Figura 3.2 - Sensor CO2

Apresenta-se de seguida a metodologia de monitorização dos indicadores de conforto e qualidade do ambiente interior.

3.2.3 Metodologia de monitorização do ambiente interior

No âmbito do levantamento foram realizadas medições do teor de dióxido de carbono, da temperatura e da humidade relativa no ambiente exterior e no interior. No interior realizaram-se medições em dois quartos de dormir e uma sala de estar, em média, por instituição. Neste âmbito o CO₂ foi utilizado como um indicador da poluição do ar interior originada pela respiração humana. A campanha de medições decorreu entre os meses de Setembro de 2012 a Fevereiro 2013. O registo nas salas de estar foi efetuado durante o dia, num período de 30 minutos, em média, para assegurar a estabilização da leitura (que correspondia a um período de aproximadamente de 15 minutos). O registo nos quartos de dormir foi efetuado durante 12 horas, em média, monitorizando todo o período a noite. Os aparelhos utilizados caracterizam-se pelas seguintes estimativas de incerteza expandida: (i) para o CO₂ de $U_{CO_2} = 62$ ppm para uma medição de 1000 ppm e $U_{CO_2} = 175$ ppm para uma medição de 3000 ppm e (ii) para a temperatura de $U_T = 1,16$ °C. Dado que se pretende evidenciar a eventual associação entre a qualidade do ar e as condições de saúde respiratória dos idosos, foram selecionadas para a realização destas medições as salas de estar e os quartos de dormir com uma aparente menor qualidade do ar (que se concretizou normalmente pela seleção dos espaços com maior ocupação e envolvente construtiva menos permeável ao ar).

Todo o procedimento de trabalho foi realizado de modo a não causar alterações significativas na rotina das instituições, não só por se pretender causar o mínimo incómodo mas também para obter resultados representativos dos hábitos diários dos ocupantes.

3.3 Medição das taxas de ventilação

3.3.1 Método do Gás traçador

Um dos principais métodos utilizados na determinação da taxa de ventilação dos compartimentos dos edifícios é o método do gás traçador. Este método consiste na libertação de uma determinada quantidade de um gás com propriedades específicas no interior do compartimento em estudo e na medição da redução da sua concentração devido à renovação do ar desse compartimento. (31)

O método do gás traçador fundamenta-se na lei da conservação da massa do ar e do gás traçador. Neste método admite-se que se verificam as seguintes condições:

- A concentração do gás traçador é homogênea no espaço em estudo;
- Existe uma mistura perfeita e imediata entre o ar e o gás traçador (homogeneização completa);
- A produção do gás traçador não altera a densidade do ar.

Admitindo ainda que a temperatura interior e a temperatura exterior do ar são constantes e uniformes (o que implica que as respetivas densidades não variam no tempo), o balanço mássico pode ser expresso em termos de caudais volúmicos pela seguinte equação diferencial:

$$V \frac{dc}{dt} = G + \dot{V}(c_e - c) \quad (3.1)$$

cujas solução é dada pela expressão 3.2.

$$c(t) = \left[\frac{\dot{V} \cdot c_e + G}{\dot{V} + G} \right] \cdot \left\{ 1 - e^{\frac{-(\dot{V} + G) \cdot t}{V}} \right\} + c_0 \cdot e^{\frac{-(\dot{V} + G) \cdot t}{V}} \quad (3.2)$$

Onde, V é o volume efetivo do espaço m^3 , \dot{V} é o caudal de ventilação $m^3 \cdot s^{-1}$, c_e é a concentração volúmica do contaminante no exterior ppm, c_0 é a concentração volúmica do contaminante no interior e no instante inicial ppm, $c(t)$ é a concentração volúmica do contaminante no interior e no instante t ppm e G é o caudal volúmico de emissão do contaminante $m^3 \cdot s^{-1}$;

3.3.2 Técnicas do decaimento e da emissão constante

Para determinar as taxas de ventilação foram utilizadas a técnica de decaimento e a técnica de emissão constante. Para reduzir ao mínimo a interferência nas rotinas dos utilizadores, foi utilizado como gás traçador o CO_2 com origem na respiração humana. Na técnica de decaimento a medição da concentração de CO_2 é feita a partir do momento em foi atingida uma concentração uniforme do gás e a sua produção termina ou seja a medição inicia-se no instante em que ocorre a saída dos ocupantes do quarto de dormir. A aplicação desta técnica permitiu estudar as taxas de ventilação que ocorrem após a saída dos ocupantes. Na técnica da emissão constante o gás traçador é libertado no quarto a uma taxa constante. Uma vez que fonte é constituída pelas emissões dos próprios ocupantes, o êxito destas medições depende dos ocupantes terem uma atividade regular e da sua presença ininterrupta durante o período de

medição. A medição inicia-se no instante em que os ocupantes entram no quarto e pode durar toda a noite, desde que o registo da concentração de CO₂ não apresente irregularidades que evidenciem alterações no padrão das emissões.

Na aplicação da técnica de decaimento considera-se, a partir da equação 3.2, que a produção de CO₂ é nula, obtendo-se assim a equação 3.3, que caracteriza o decaimento da concentração de CO₂ no quarto de dormir.

$$C = C_e + [C_0 - C_e] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \left(\frac{C - C_e}{C_0 - C_e}\right) = e^{-\left(\frac{\dot{V}}{V}\right)t} \Leftrightarrow \ln(C - C_e) = \ln(C_0 - C_e) - \left(\frac{\dot{V}}{V}\right) \cdot t \quad (3.3)$$

Na aplicação da técnica de emissão constante considera-se, a partir da equação 2, que a produção de CO₂ é constante, obtendo-se assim a equação 3.4 que caracteriza a fase de emissão constante de CO₂ no quarto de dormir.

$$C = \frac{(\dot{V} \cdot C_e + G)}{(\dot{V} + G)} \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right)t}\right] + C_0 \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right)t} \Leftrightarrow C = \frac{(\dot{V} \cdot C_e + G)}{(\dot{V} + G)} + \left[C_0 - \frac{(\dot{V} \cdot C_e + G)}{(\dot{V} + G)}\right] \cdot e^{-\left(\frac{\dot{V} + G}{V}\right)t} \quad (3.4)$$

3.3.3 Estimativa do valor de produção de dióxido de carbono

Dado que seria demasiado intrusivo proceder-se à medição das emissões de CO₂ dos ocupantes dos quartos, procedeu-se à sua estimativa por via analítica (20), de acordo com a equação 3.5.

$$G = 4 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot A_d \quad (3.5)$$

onde G é o caudal volúmico de emissão de CO₂ l.s⁻¹, M é a intensidade da atividade metabólica W.m⁻² e A_d é a área do corpo humano m², dada pela fórmula de Dubois (equação 3.6):

$$A_d = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot H^{0,725} \quad (3.6)$$

onde m é a massa corporal Kg e H é a altura m.

Considerou-se que a pessoa-padrão pesa 70 kg e mede 1,73 m, obtendo-se assim uma área do corpo de:

$$A_d = 0,202 \cdot 70^{0,425} \cdot 1,73^{0,725} = 1,83 \text{ m}^2 \quad (3.7)$$

Substituindo o valor obtido na equação 3.5 na equação 3.4 e considerando que o valor da intensidade da atividade metabólica correspondente a um ser humano a dormir (46W.m⁻²) obtém-se:

$$G = 0,000046 \cdot 46 \cdot 1,8 = 0,00331 \text{ l.s}^{-1} = 0,01193 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.8)$$

3.3.4 Metodologia para determinação da taxa de ventilação

Durante a análise individual dos gráficos de concentração de CO₂, dos quartos de dormir, foi possível constatar que existia dois tipos de gráficos. No primeiro, que foi designado como “Grupo A”, existe uma clara distinção entre as várias fases do dia, sendo possível perceber a história do dia. A Figura 7.2 - Gráfico G2 é um bom exemplo deste tipo de gráficos, onde é possível visualizar que por volta das 8 horas da noite os utentes daquele quarto entraram. Depois durante a noite a concentração de CO₂ estabilizou e às 7 horas da manhã terão acordado e

voltou a haver um pico de atividade, seguido depois pela abertura das portas e ou janelas provocando um declínio da concentração de CO₂. No segundo Grupo, o “Grupo B”, não é possível ter esta leitura clara. Como podemos ver na Figura 7.46 - Gráfico G11. Logo foi necessário adotar duas metodologias para determinar as taxas de ventilação.

Para o “Grupo A” aplicou-se o método dos mínimos quadrados na ferramenta informática Excel. No caso do método do decaimento, o ajustamento foi feito apenas em relação à variável \dot{V}/V . No caso do método da emissão constante, o ajustamento foi feito inicialmente relativamente a duas variáveis (\dot{V} e G), sendo posteriormente o valor de G assim obtido comparado como resultante da expressão 3.8 (sendo este valor multiplicado pelo número de ocupantes). Nas situações em que o valor G obtido através do ajustamento por mínimos quadrados diferia significativamente do número de ocupantes do quarto, admitiu-se que a anomalia seria devida a alterações imprevistas da sua rotina, pelo que se procedeu a um ajustamento univariável (sendo esta \dot{V} e o valor de G estimado a partir de 3.8).

Para o “Grupo B” também foi aplicado o método dos mínimos quadrados na ferramenta informática Excel. No caso do método do decaimento, o ajustamento também foi feito da mesma forma, ou seja, foi feito apenas em relação à variável \dot{V}/V . No caso do método da emissão constante, o ajustamento apenas a uma variável (sendo esta o \dot{V} e o valor de G foi estimado a partir de 3.8).

Capítulo 4

Resultados

4.1 Análise das características construtivas dos edifícios

Foram analisados 33 lares de acordo com a metodologia descrita, abrangendo um total de 40 salas de estar e 74 quartos de dormir. Nos próximos pontos serão apresentadas as características construtivas do edificado.

4.1.1 Época e tipo de construção

A análise dos dados recolhidos permitiu concluir que a maioria dos edifícios em Lisboa foi construída antes de 1950 (61%), sendo que cerca de metade (52%) os edifícios analisados já sofreram obras. Em termos do Tipo de alvenaria

De seguida, apresenta-se a distribuição da época do edificado (Figura 4.1) e a distribuição do tipo de alvenaria utilizado (Figura 4.2).

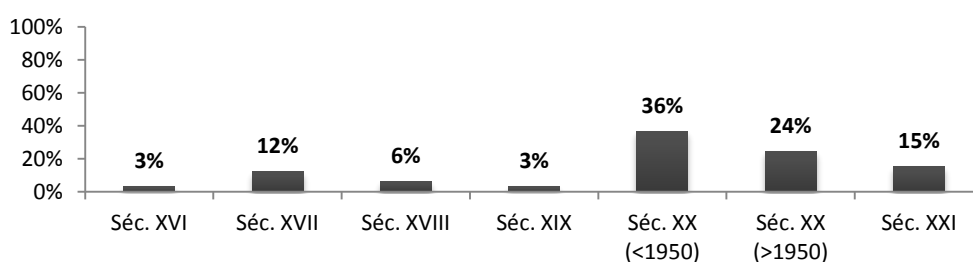


Figura 4.1 - Época de construção do edificado

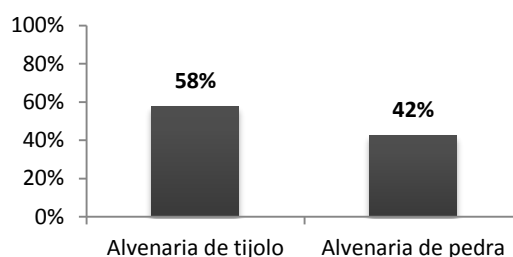


Figura 4.2 – Tipo de construção do edificado

4.1.2 Localização/Envolvente Urbana

Verificou-se que na sua maioria, quer na cidade de Lisboa, os Lares estão localizadas no interior da cidade em zonas urbanas consolidadas caracterizadas por uma elevada densidade de ocupação (Figura 4.5). Apesar disso e ainda no que diz respeito à envolvente urbana, verificou-se que na maioria dos casos, os Lares analisados localizam-se em zonas sem grandes fontes de poluição, nomeadamente proximidade de vias com tráfego intenso, instalações fabris, etc. (Figura 4.4)

Apresentam-se de seguida a localização das escolas no mapa na cidade de Lisboa (Figura 4.3).

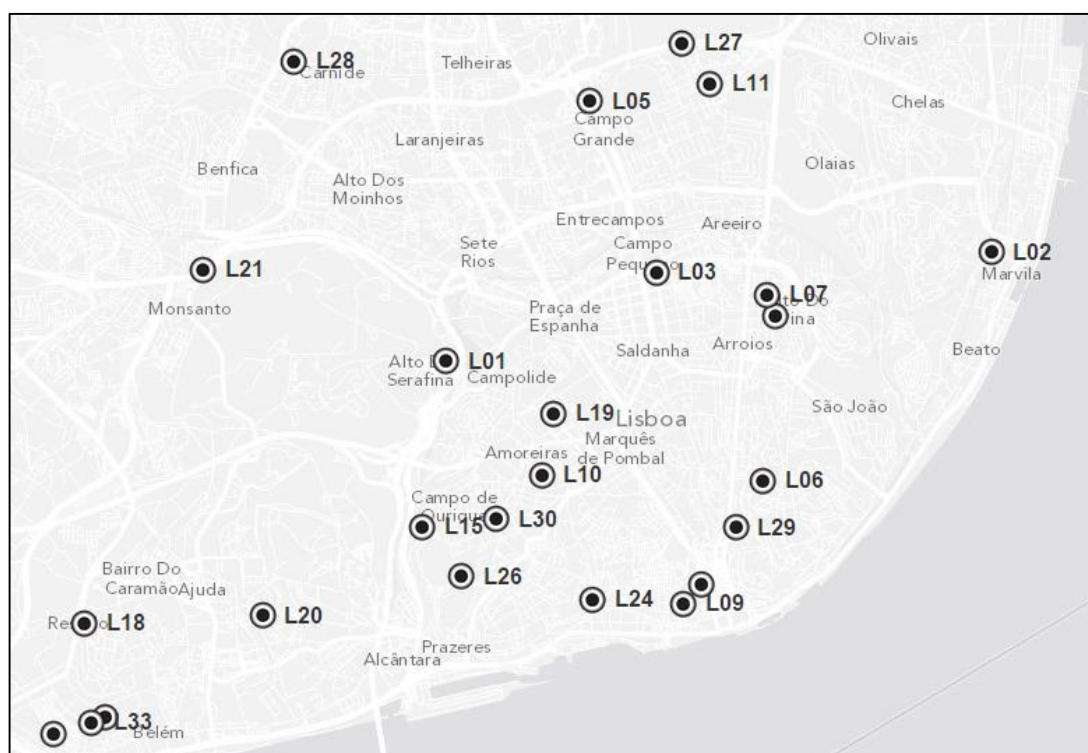


Figura 4.3 - Localização dos Lares em Lisboa

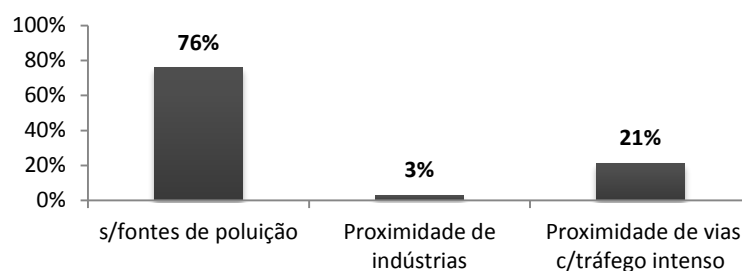


Figura 4.4 - Fontes de Poluição

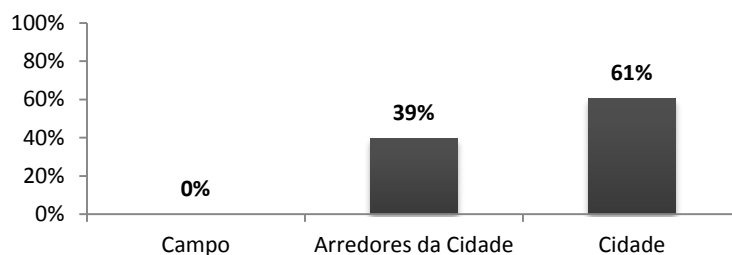


Figura 4.5 – Inserção Urbana do edifício

Relativamente à tipologia do Edifícios, a distribuição é igual, sendo metade Unifamiliar e a outra metade Multifamiliar (Figura 4.7). A maioria dos edifícios (64%) estão implementados em banda (Figura 4.6).

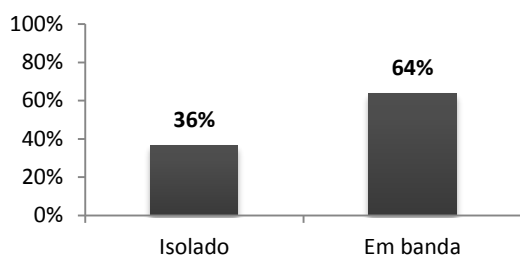


Figura 4.6 - Tipo de implementação

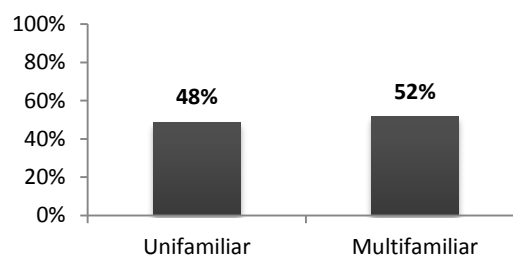


Figura 4.7 - Tipologia do edifício

A grande maioria dos Lares, não foi construído especificamente para ser utilizado para desempenhar esta função, a grande maioria (82%) foi adaptado para este uso.

Só 39% dos Lares são exclusivos para esta atividade, os restantes são maioritariamente edifícios habitacionais.

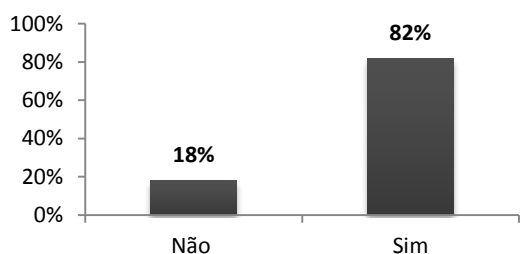


Figura 4.8 - Edifício adaptado a Lar

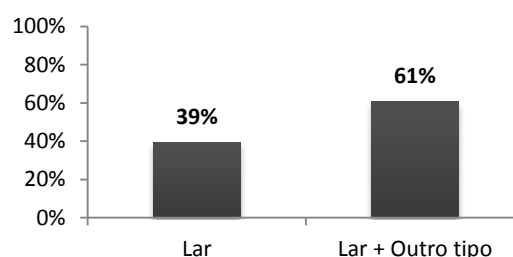


Figura 4.9 - Utilização do Edifício

4.1.3 Estado de Conservação

Relativamente ao estado de conservação, apenas uma pequena percentagem de edifícios analisados (24%) apresenta patologias construtivas ao nível de condensações e infiltrações provenientes de caixilharia, coberturas e paredes exteriores.

A existência destas patologias construtivas revela uma carência óbvia de manutenção, especialmente tendo em conta o facto de a maioria estar associada aos edifícios anteriores a 1950. O outro fator que pode contribuir para a ocorrência de algumas destas patologias pode estar relacionado com a ventilação insuficiente dos espaços.

De seguida, apresenta-se a distribuição das patologias construtivas encontradas nos edifícios das escolas de Lisboa (Figura 4.10).

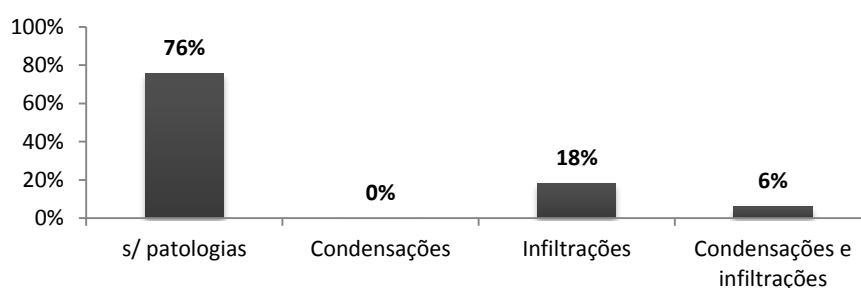


Figura 4.10 - Patologias construtivas dos edifícios

4.1.4 Sistemas de Climatização

A análise dos dados recolhidos permitiu concluir que a maioria dos edifícios utiliza eletricidade como fonte de energia para aquecimento e arrefecimento do edificado, (61%). De seguida, apresenta-se na Figura 4.11 a distribuição da fonte de energia usada para aquecimento e arrefecimento nos edifícios dos Lares.

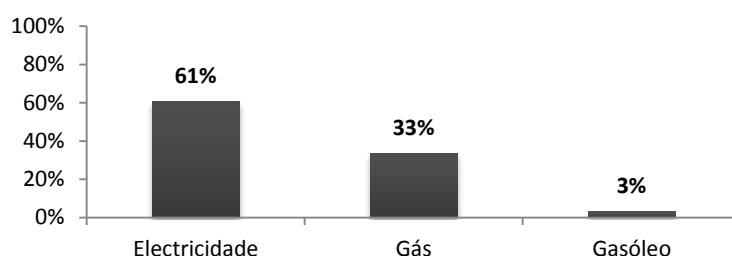


Figura 4.11 - Fonte de energia utilizada nos sistemas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento são constituídos maioritariamente por equipamentos autónomos (58%), nomeadamente: ventoinhas, ar condicionado portátil, aquecedores a óleo, aquecedores de infravermelhos, acumulador de calor e convetores. De seguida, apresenta-se na Figura 4.12 a distribuição do sistema de aquecimento e arrefecimento nos edifícios dos Lares.

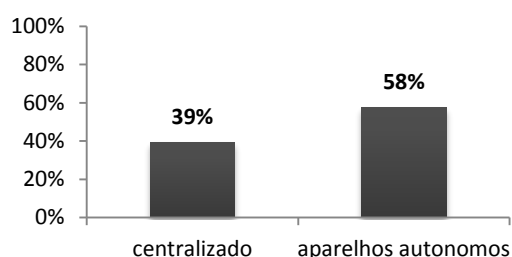


Figura 4.12 - Sistema de aquecimento e arrefecimento dos edifícios

No que respeita à componente da ventilação, a maioria dos edifícios analisados 61% apresenta sistemas de ventilação mistos. No essencial, existem dois tipos de sistemas: os baseados na ventilação natural e os baseados em equipamentos de ventilação mecânica.

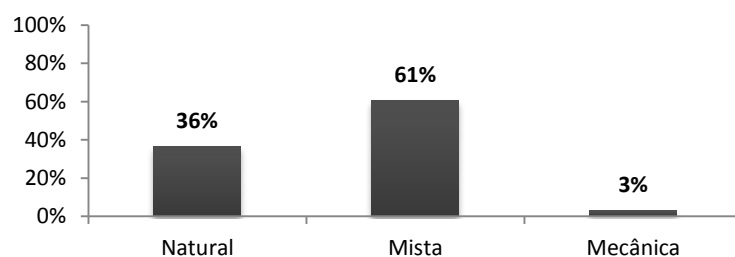


Figura 4.13 - Sistema de ventilação dos edifícios

Quando utilizados em conjunto com estratégias de ventilação natural, os equipamentos de ventilação mecânica originam os designados sistemas de ventilação mistos que consistem na extração mecânica individual e descontínua, funcionando em função das necessidades dos utilizadores. Na Figura 4.13 é possível ver a distribuição do sistema de ventilação nos edifícios dos lares. A ventilação mista é constituída essencialmente por admissão do ar por via natural e da exaustão mecânica nas cozinhas e, mais raramente, nas instalações sanitárias. Nos lares estudados, as cozinhas estão afastadas dos quartos e frequentemente têm aberturas próximas para admissão do ar de compensação, pelo que a sua ventilação é feita de forma

independente dos quartos. Neste estudo não existem quartos ou salas de estar com ventilação mecânica ou mista.

4.2 Análise das características dos quartos de dormir e das Salas de estar

Note-se que o número de quartos e salas com caixilharia sem vedantes é ligeiramente superior ao número de quartos e salas com caixilharia de madeira, o que evidencia que esta caixilharia de madeira é nestes casos a original, na qual não existiam vedantes. Este aspeto está associado ao facto de não serem normalmente usados sistemas de caixilharia de madeira de conceção recente (normalmente de elevado desempenho), devido ao seu preço mais elevado.

Note-se que cerca de 50% da caixilharia é de batente, o que normalmente está associado a uma preferência por uma menor permeabilidade ao ar e por um modo de abertura que desimpeça totalmente o espaço do vão. É relevante verificar-se que a percentagem de janelas de batente é superior à percentagem de vedantes de borracha, o que indica que algumas janelas de batente estão inadequadamente providas de vedantes de pelúcia, sendo assim prejudicado o seu desempenho de permeabilidade ao ar.

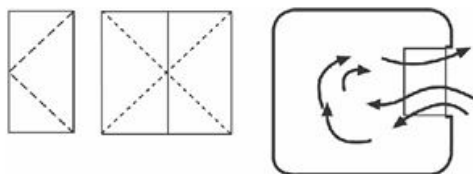


Figura 4.14 - - Esquema de Janela de Batente

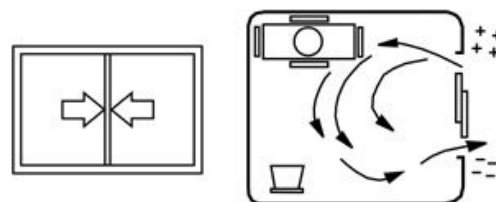


Figura 4.15 - Esquema de uma Janela de Correr



Figura 4.16 - Esquema de uma janela tipo

Basculante



Figura 4.17 - Esquema de uma janela tipo Oscilo

batente

Tabela 4.1 - Características dos vãos

		Quartos de dormir		Salas de Estar	
		n_i	$f_i(\%)$	n_i	$f_i(\%)$
Material da Caixilharia	Madeira	17	23%	6	15%
	Alumínio	57	77%	31	78%
	Aço	0	0%	3	8%
Tipo de Folha	Batente	38	51%	20	50%
	Correr	22	30%	13	33%
	Basculante	4	5%	3	8%
	Batente + basculante	1	1%	1	3%
	Oscilobatente	9	12%	2	5%
	Fixa	0	0%	1	3%
Tipo de vedantes	S/ vedantes	19	26%	8	21%
	C/ vedantes	25	34%	15	38%
	C/ vedantes de pelúcias	30	41%	16	41%
Tipo de caixa de estore	Interior	24	32%	2	5%
	Exterior	14	19%	6	15%
	S/ caixa de estore	36	49%	32	80%

Note-se que nos quartos de dormir é frequente a utilização de caixa de estore interior, a que se associa correntemente no processo construtivo corrente em Portugal, uma elevada permeabilidade ao ar (22).

A maioria dos edifícios não dispõe de qualquer sistema de ventilação concebido para o efeito, sendo a sua ventilação assegurada por meios passivos através da abertura das janelas ou através da permeabilidade ao ar da envolvente. Apenas um edifício dispõe de um sistema de ventilação mecânico (Tabela 4.2). No caso da ventilação mista, apenas as cozinhas e as instalações sanitárias estavam dotadas de exaustão mecânica, estando estas, como se referiu, suficientemente afastadas dos quartos para não influenciarem a sua ventilação natural.

Tabela 4.2 - Características do sistema de ventilação

		n_i	$f_i(\%)$
Sistema de Ventilação	Natural	12	36%
	Mista	20	61%
	Mecânica	1	3%

4.3 Análise do ambiente interior

4.3.1 Generalidades

Foi medido o teor de CO₂ em 74 quartos de dormir e em 40 salas de estar. A Figura 4.19 mostra a distribuição das medições do teor de CO₂ nos quartos de dormir; a Figura 4.20 mostra a evolução temporal da concentração de CO₂ num quarto individual e exemplifica a determinação das variáveis em cada quarto de dormir (CO₂ estacionário corresponde ao valor médio no período indicado; CO₂ noturno corresponde ao valor máximo no período noturno; CO₂ máximo corresponde ao valor máximo de todo o período de registo); a Figura 4.18 mostra a distribuição das medições do teor de CO₂ e nas salas de estar.

4.3.2 Salas de estar

Verifica-se que na maioria as salas de estar se registam concentrações de CO₂ inferiores a 1250 ppm.

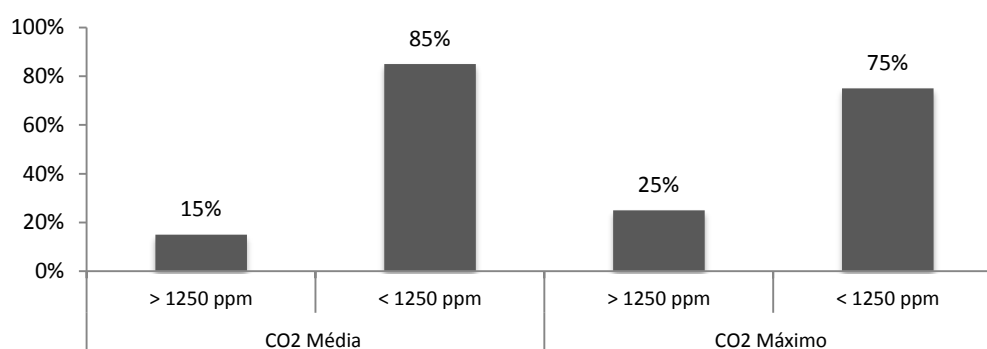


Figura 4.18 - Resultados da medição do teor de CO₂ das salas de estar

O valor de 1250 ppm constitui o limite referido no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (32), que embora não se aplique necessariamente nestes casos constituía à data do levantamento uma referência nacional para a QAI em edifícios.

Embora o impacto da permeabilidade da envolvente do edifício e das ações do vento e da diferença de temperatura entre o interior e o exterior na taxa de ventilação seja bem conhecido e a avaliação do impacto da taxa de ventilação na concentração de poluentes, desde que se conheçam as respetivas fontes, não ponha problemas de maior, a situação real de utilização de uma edificação é difícil de ser prevista sem uma extensa medição das características da edificação e um conhecimento detalhado das práticas dos seus utilizadores. No presente caso, resultou do levantamento realizado um conjunto de características observáveis que se relacionam com a ventilação e que podem influenciar a QAI. Este estudo prosseguirá com a investigação de eventuais associações entre as características construtivas dos edifícios e as suas taxas de ventilação e teores de CO₂.

4.3.3 Quartos de dormir - Geral

Verifica-se que em 77% das medições, nos quartos de dormir, os valores máximos absolutos da concentração de CO₂ são superiores a 1250 ppm (1800 mg/m³).

Ao analisar-se as concentrações máximas de CO₂ durante o período noturno (CO₂ noturno), verificou-se que 66% dos quartos de dormir registam valores superiores ao valor limite de referência.

Determinou-se o teor de CO₂ estacionário, correspondente ao período noturno, determinado entre 00:00 e as 06:00 em que a concentração de CO₂ se mantém aproximadamente constante. Este período noturno é mais relevante porque representa o período de maior exposição dos ocupantes ao ambiente interior. Verificou-se que 42% dos quartos de dormir registam valores superiores ao limite de referência.

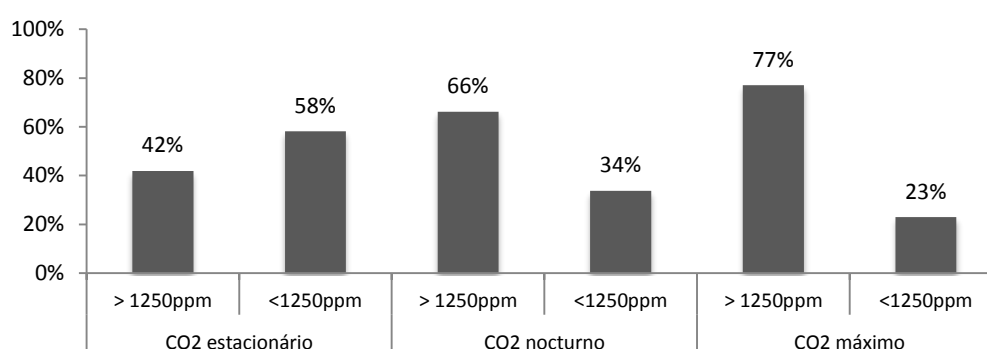


Figura 4.19 - Resultados da medição do teor de CO₂ em quartos de dormir de Lisboa – Geral.

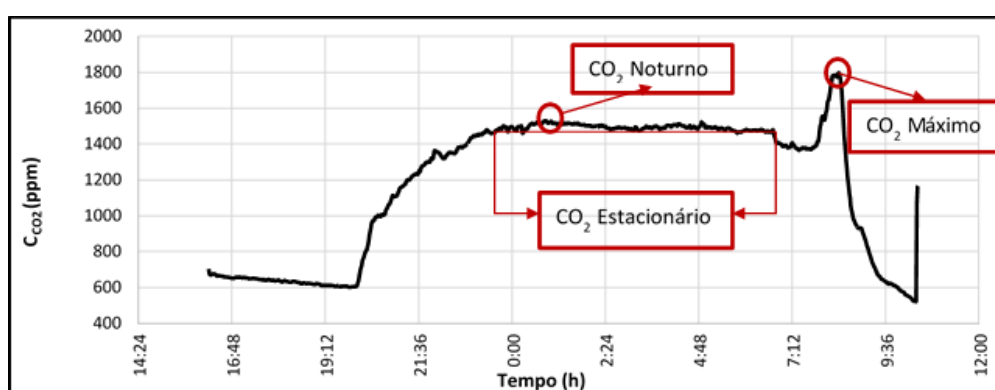


Figura 4.20- L1 Quarto individual

4.3.3.1 Grupo A

Verifica-se que em 82% das medições, nos quartos de dormir, os valores máximos absolutos da concentração de CO₂ são superiores a 1250 ppm (1800 mg/m³).

Ao analisar-se as concentrações máximas de CO₂ durante o período noturno (CO₂ noturno), verificou-se que 59% dos quartos de dormir registam valores superiores ao valor limite de referência.

Determinou-se o teor de CO₂ estacionário, correspondente ao período noturno, determinado entre 00:00 e as 06:00 em que a concentração de CO₂ se mantém aproximadamente constante. Este período noturno é mais relevante porque representa o período de maior exposição dos ocupantes ao ambiente interior. Verificou-se que 84% dos quartos de dormir registam valores superiores ao limite de referência

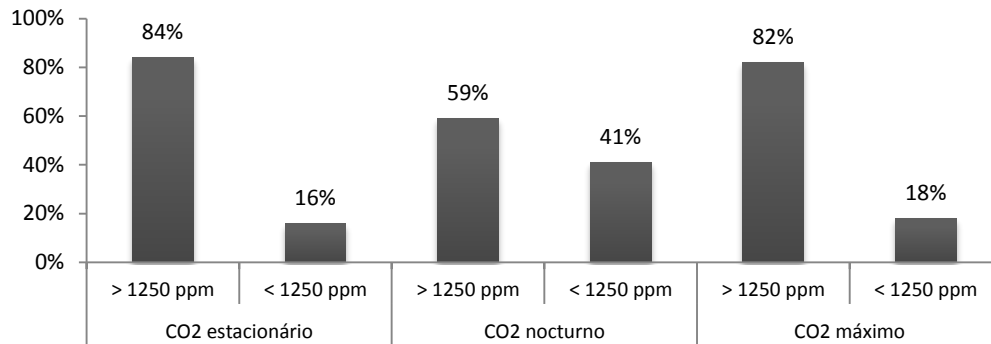


Figura 4.21 - Resultados da medição do teor de CO₂ em quartos de dormir do Grupo A

4.3.3.2 Grupo B

Verifica-se que em 40% das medições, nos quartos de dormir, os valores máximos absolutos da concentração de CO₂ são superiores a 1250 ppm (1800 mg/m³).

Ao analisar-se as concentrações máximas de CO₂ durante o período noturno (CO₂ nocturno), verificou-se que 84% dos quartos de dormir registam valores superiores ao valor limite de referência.

Determinou-se o teor de CO₂ estacionário, correspondente ao período noturno, determinado entre 00:00 e as 06:00 em que a concentração de CO₂ se mantém aproximadamente constante. Este período noturno é mais relevante porque representa o período de maior exposição dos ocupantes ao ambiente interior. Verificou-se que 68% dos quartos de dormir registam valores superiores ao limite de referência

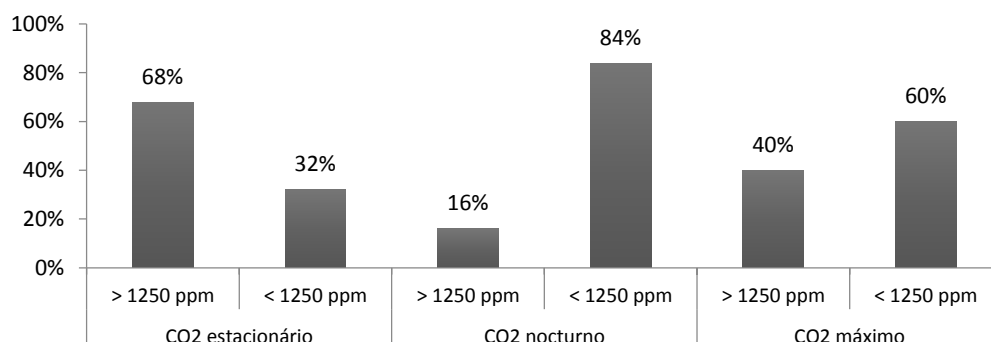


Figura 4.22 Resultados da medição do teor de CO₂ em quartos de dormir do Grupo B

4.4 Análise das taxas de ventilação

De modo a ter-se uma análise das taxas de ventilação com níveis de fiabilidade claramente associados, definiram-se 3 grupos de quartos. No Grupo A, composto por 44 quartos de dormir, encontram-se os quartos com gráficos da concentração de CO₂, que apresentavam um comportamento possível de análise, ou seja, eram perceptíveis os eventos que ocorreram durante as medições.

No Grupo B, composto por 25 quartos de dormir, já não é possível diferenciar estes eventos, os gráficos não apresentam um comportamento lógico.

Por último, existe um Grupo de 5 quartos de dormir excluídos, um deles por se tratar de uma Camarata aberta e não ter sido possível determinar o Volume. Os restantes foram excluídos porque existia demasiado ruído nas leituras da Concentração de CO₂.

O ajuste das curvas e cálculo das taxas de ventilação também é diferente de grupo para grupo, tal como foi explicado no Capítulo da Metodologia.

Em anexo é possível visualizar os gráficos dos quartos de dormir, onde a curva de crescimento encontra-se marcada a preto e linha ponto, a curva de decaimento está marcada a preto e linha cheia. Na linha a cinza está representada a Concentração de CO₂.

4.4.1 Técnica de emissão constante (Rph₁)

Na Figura 4.23 apresenta-se a distribuição dos resultados das taxas de ventilação medidas durante o período noturno num universo de 44 quartos de dormir através da técnica de emissão constante. É possível verificar que metade das taxas de ventilação medidas se encontram acima do valor de 0,6 renovações por hora, encontrando-se apenas uma pequena amostra abaixo de 0,3 renovações por hora.

O maior valor de determinado foi de 1,87 renovações por hora num quarto duplo do Lar número 9 Figura 7.10 - Gráfico G24, o menor valor foi de 0,26 renovações por hora noutro quarto duplo, mas do Lar 6 Figura 7.11 - Gráfico G27.

O valor médio é de 0,73 renovações por hora com um desvio padrão de 0,42 renovações por hora.

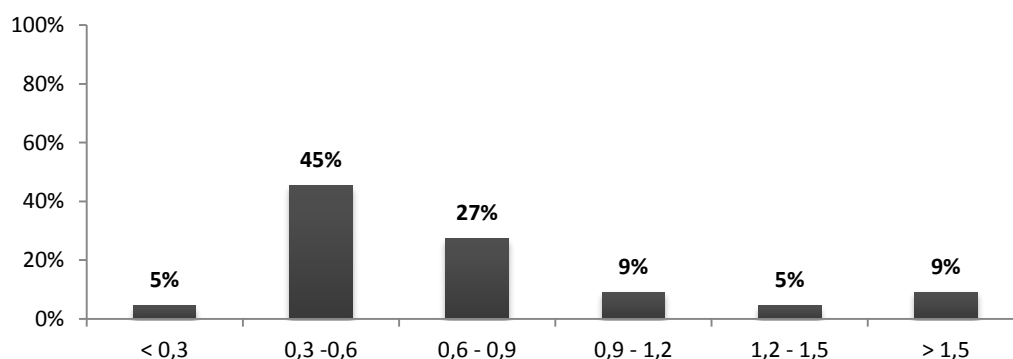


Figura 4.23 - Resultados das taxas de ventilação obtidas através da emissão constante (Rph₁)

Ao comparar o valor de G (caudal volúmico de emissão de CO₂) estimado analiticamente com o estimado pelo método dos mínimos quadrados é possível fazer-se uma avaliação da adequação da aplicação do método da emissão constante numa situação em que na prática é desconhecida com rigor a emissão dos ocupantes ao longo do tempo. A diferença entre esses valores de G está apresentada na Figura 4.23 - Resultados das taxas de ventilação obtidas através da emissão constante (Rph 1), esse gráfico só tem valores máximos de 0,5 (diferença de “meia pessoa”), pois foi o limite considerado razoável para compensar a existência de características reais diferentes das consideradas no cálculo analítico de G (peso, altura e atividade metabólica).

Nos quartos em que os valores se encontravam acima de 0,5, foi necessário fazer uma análise mais cuidada de modo a avaliar qual poderia ser a causa para esta discrepância de valores, sendo as duas principais causas, as seguintes:

- Durante a fase inicial da noite existe uma atividade mais elevada no quarto devido à entrada de pessoal auxiliar e aos preparativos para dormir, logo quando se faz o ajustamento a duas variáveis a fase inicial torna-se dominante relativamente à fase mais estável da noite (a mais representativa). Portanto optou-se por fazer um ajustamento univariável de modo a ser obtido um valor mais representativo do desempenho noturno da ventilação.
- Num dos quartos confirmou-se que não seria possível estar com a capacidade máxima (2 pessoas), fazendo-se assim o ajuste a duas variáveis mas considerando que durante aquela noite apenas se encontrava uma pessoa no quarto de dormir.

Na Figura 4.24 é possível verificar que nos 44 quartos analisados foram obtidas boas aproximações dos valores de G, o que evidencia que a aplicação deste método é adequada.

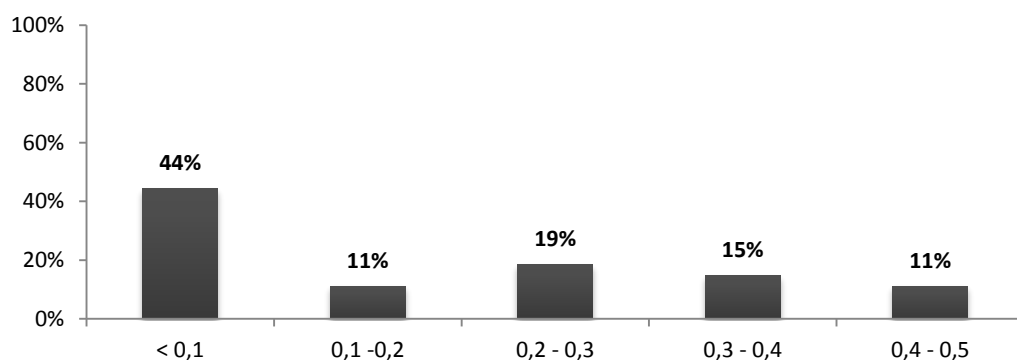


Figura 4.24 - Valores das diferenças entre o G calculado analiticamente e o estimado pelo método dos mínimos quadrados

4.4.2 Técnica do decaimento ($R_{ph\ 2}$)

Na Figura 4.25- Resultados das taxas de ventilação obtidas através da técnica do decaimento apresenta-se a distribuição das taxas de ventilação estimadas pelo método do decaimento no início da manhã calculada em 35 quartos de dormir. Não foi possível aplicar este método em 9 dos quartos, porque não foi possível encontrar uma zona clara de início de decaimento, como por exemplo no quarto duplo do Lar 15 (Figura 7.17 - Gráfico G46).

Verifica-se que as taxas de ventilação são muito mais elevadas do que as precedentes, o que só é possível de explicar através da intensificação da ventilação por aberturas das portas interiores e/ou das janelas exteriores. Confirma-se assim que existe a prática corrente de compensar a deficiente taxa de ventilação noturna através do “arejamento” matinal dos quartos. Observa-se que existem algumas situações em que é ultrapassada a taxa de ventilação de 5 renovações por hora.

Em termos físicos é possível estimar o tempo necessário para que o teor do poluente seja reduzido em 90% do inicial (equação 3.3), obtendo-se a seguinte correspondência:

- De 1 a 2 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 90 minutos e 60 minutos,
- De 2 a 3 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 60 minutos e 45 minutos,
- De 3 a 4 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 45 minutos e 35 minutos,
- De 4 a 5 renovações por hora o tempo esperado situa-se entre 35 minutos e 30 minutos,
- Para valores superiores a 5 renovações por hora o tempo esperado é inferior a 30 minutos.

Verifica-se assim que, embora as taxas de ventilação noturnas sejam relativamente baixas, o adequado arejamento matinal (desde que seja praticado com uma duração compreendida entre 30 e 90 minutos) tem capacidade para baixar significativamente o teor de poluentes, impedindo que o teor desses poluentes seja incrementado no ambiente interior por acumulação em dias sucessivos.

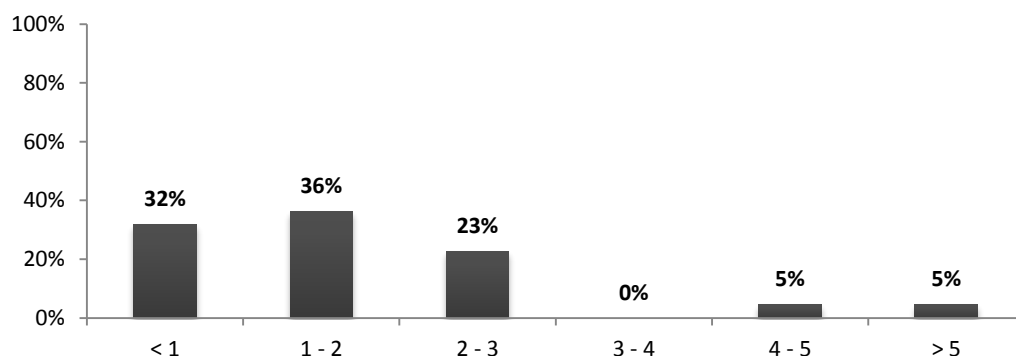


Figura 4.25- Resultados das taxas de ventilação obtidas através da técnica do decaimento

4.4.3 Vento vs. Taxas de ventilação

De forma a tentar avaliar o efeito do vento nos resultados das taxas de ventilação, fez-se uma análise da influência da velocidade do vento (medida no Aeroporto de Lisboa no dia da respetiva visita às instalações para as medições) nos valores das taxas de ventilação dos quartos pertencentes ao Grupo A.

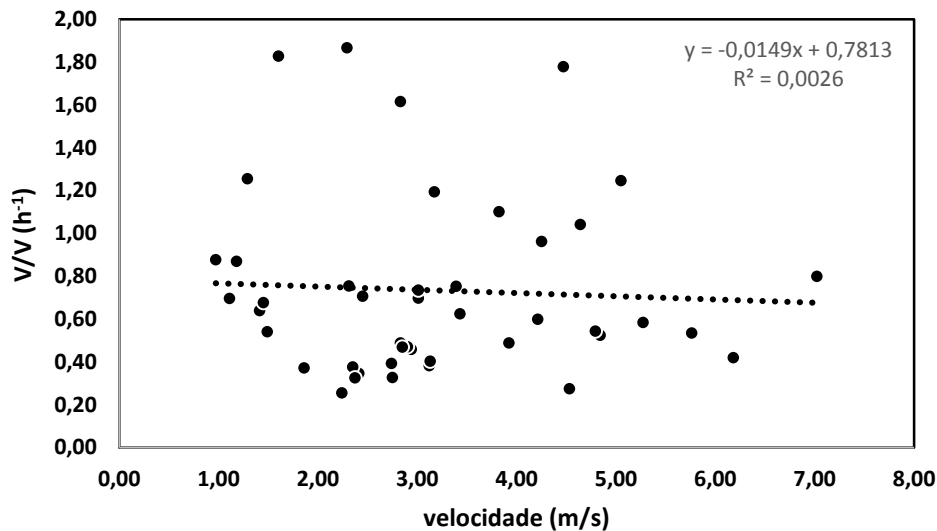


Figura 4.26 - Velocidade do vento vs. Taxa de ventilação

Desenvolvendo a equação 4.1 substituindo a variação da pressão com a equação 4.2, obtemos uma expressão em que a variação do caudal volúmico é diretamente proporcional à velocidade. Portanto o resultado analítico esperado, se outros fatores não tivessem um peso significativo, seria um aumento das taxas de ventilação com o incremento da velocidade do vento. O resultado foi o oposto, a linha de tendência é ligeiramente decrescente. Não foi possível obter-se uma boa relação ($Q \propto v$) primeiramente devido às várias exposições das janelas, em segundo lugar a medição do vento não foi feita no local e por último o fator humano (abertura e fecho de portas e/ou janelas) poderá ter influenciado esta relação.

Para obtermos uma relação representativa da realidade, seria necessário calcular caso a caso os restantes valores das equações apresentadas de seguida.

$$Q = C_d \cdot (\Delta P)^n \quad (4.1)$$

$$(\Delta P) = \delta p \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (4.2)$$

Onde, Q é o caudal volúmico de ventilação [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], C_d representa o coeficiente de vazão [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Pa})$], Δp é a variação de pressão [Pa], n representa o expoente de escoamento dependente do tipo de regime de escoamento, δp é o coeficiente de pressão exterior adimensional, ρ massa volúmica do ar [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] e o v é a velocidade do vento [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Conclusões Gerais

Este estudo permitiu identificar as principais características revelantes para a ventilação destes edifícios utilizados como lares de idosos. Para além disso foi avaliada a poluição no ambiente interior de origem antrópica através da medição do teor de CO₂, que foi assim utilizado como um marcador indireto. Foram ainda estimadas as taxas de ventilação, a partir dos registos contínuos da evolução do teor de CO₂ ao longo do tempo.

Foram obtidas as seguintes conclusões:

- O Novo Método desenvolvido é qualitativamente adequado, uma vez que foram obtidos bons ajustamentos das curvas teóricas às experimentais, é possível verificar esse ajuste do método a nível visual como através da diferença dos valores do caudal volúmico de emissão de CO₂ calculado e o G estimado.
- O período de medição de 12 horas nos quartos de dormir é suficiente para se determinar as taxas de ventilação. Verifica-se que uma parte significativa dos edifícios anteriores a 1950 (64%) dispõe de janelas de alumínio (pelo menos 41%), o que indica que sofreram reabilitações com substituição da caixilharia original.
- Entre 20% a 26% dos compartimentos têm caixilharia sem vedantes, o que corresponderá a maiores infiltrações do ar e deverá ter reflexos quer no conforto, quer na taxa de ventilação.
- 32% dos quartos têm caixa de estore interior, o que poderá contribuir muito significativamente para o incremento das infiltrações de ar, tendo em conta o tipo de construção praticada em Portugal.
- De todos os edifícios estudados apenas um dispõe de ventilação mecânica centralizada. Não existem outros edifícios com sistemas de ventilação adequadamente organizados envolvendo todos os espaços, embora seja corrente a utilização de exaustão mecânica nas instalações sanitárias e nas cozinhas.
- Observa-se que em 58% dos quartos estudados o teor de CO₂ estacionário é superior a 1250 ppm.
- Nas salas de estar, os valores medidos em períodos de curta duração indicam que 85% dos valores da concentração de CO₂ se encontram abaixo de 1250 ppm.

- Verifica-se que a metodologia de avaliação da taxa de ventilação assumindo que a emissão de CO₂ é constante se adequa bem ao período noturno.
- Verifica-se que em 38% dos quartos a taxa média de ventilação é inferior a 0,4 rph.
- Observa-se que correntemente os cuidadores abrem as janelas exteriores e/ou as portas interiores dos quartos no início da manhã para “arejar”, conseguindo taxas de ventilação superiores a 2 rph em 55% dos casos.

5.2 Desenvolvimentos futuros

- Efetuar uma análise mais profunda sobre a influência do vento nas taxas de ventilação.
- Aplicar o Método de Monte Carlo aos resultados do Grupo A, de modo a perceber se as incertezas obtidas são aceitáveis.
- Comparar os valores das taxas de ventilação obtidos através de análises com PFT's, com os valores obtidos nesta dissertação.
- Realização de análises entre os resultados médicos, a qualidade do ar interior e a ventilação. Tendo como objetivo determinar o efeito da ventilação e qualidade do ar interior na saúde dos idosos, procurando esclarecer diversas questões, tais como:
 - Qual a influência do ambiente interior na saúde dos idosos?
 - Que relação existe entre o ambiente interior e as infeções respiratórias virais?
 - Como é que a ventilação dos espaços afeta a qualidade do ambiente interior?

Referências Bibliográficas

1. **M.S. Zuraimi, K.W. Tham.** *Indoor air quality and its determinants in tropical child care centers. Atmospheric Environment*, Vol. 42(9), pp. 2225-2239. 2008.
2. **Rune Andersen, Valentina Fabi, Jorn Toftum, Stefano P. Corgnati, Bjarne W. Olesen.** *Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings. Building and Environment* 69 101-113. . 2013.
3. **F. van Dijken, J. E. M. H. van Bronswijk e J. Sundell.** , *Indoor environment and pupils' health in primary schools, Building Research & Information*, Vol. 34(5), pp. 437-446. 2006.
4. **D. Mumovic, J. Palmer, M. Davies, M. Orme, I. Ridley, T. Oreszczyn, C. Judd, R. Critchlow, H. A. Medina, G. Pilmoor, C. Pearson e P. Way.** *Building and Environment*, Vol. 44, pp. 1466-1477 . 2009.
5. **Budjko, A. Borodinecs and Z.** *Indoor air quality in nursery schools in Latvia. Proceedings of Healthy Buildings 2009, Syracuse, USA* . 2009.
6. **Khaled Al-Rashidi, Dennis Loveday, Nawaf Al-Mutawa.** *Impact of ventilation modes on carbon dioxide concentration levels in Kuwait classrooms. Energy & Buildings*, Vol. 47, pp. 540-549 . 2012.
7. **Susana Marta Almeida, Nuno Canha, Ana Silva, Maria do Carmo Freitas, Priscilla Pegas, Célia Alves, Margarita Evtugina, Casimiro Adrião Pio.** *Children exposure to atmospheric particles in indoor of Lisbon primary schools. Atmospheric Environment*, Vol.45(40), pp. 7594-7599 . 2011.
8. **P.N. Pegas, T. Nunes, C.A. Alves, J.R. Silva, S.L.A. Vieira, A. Caseiro, C.A. Pio.** *Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal. Atmospheric Environment*, Vol.55, pp. 80-89 . 2012.
9. **D. Norbäck, G. Wieslander, X. Zhamg e Z. Zhao,.** *Respiratory Symptoms, perceived air quality and physiological signs in elementary school pupils in relation to displacement and mixing ventilation system: an intervention study. Indoor Air*, Vol. 21, pp. 4. 2011.
10. **M. C. Freitas, N. Canha et al.** , *Indoor air quality in primary schools, Advanced Topics in Environmental Health and Air Pollution Case Studies*, Vol. 20, pp. 361-384 . 2011.
11. **Mélissa St-Jean, Annie St-Amand, Nicolas L. Gilbert, Julio C. Soto, Mireille Guay, Karelyn Davis, Theresa W. Gyorkos.** *Indoor air quality in Montréal area day-care centres, Canada. Environmental Research* . 2012.
12. **O. Ramalho, C. Mandin, J. Ribéron e G. Wyart.** *Air stuffiness and air exchange rate in French schools and day-care centres. Ventilation 2012, Paris*. 2012.
13. **Larry Dlugosz, Wei Sun.** *HVAC design to reduce risk of communicable disease in child care center infant and toddler rooms.(Report). ASHRAE Transactions*, July, Vol. 117(2), p. 84(7) . 2011.
14. **Ying-Chia Huang, Chiao-Lee Chu, Shu-Nu Chang Lee, Shou-Jen Lan, Chen-Hsi Hsieh, Yen-Ping Hsieh.** *Building users' perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities. Building and Environment* 67 224-230. 2013.
15. **62.1, ASHRAE Standard.** *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA* (2010).

16. **RSECE.** *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).* Diário da República — I Série-A, Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril de 2006. 2006.
17. **ECA (European Collaborative Action).** *Urban Air Indoor Environment and Human Exposure: Ventilation Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy.* Luxemburg : European Collaborative Action Joint Research Centre –Institute for Health and Consumer Protection, 2003.
18. **WHO (World Health Organization).** *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants .* 2010.
19. **Pinto, Armando.** *Sistema de Climatização e Ventilação Mecânica. Ambiente em Edifícios Urbanos.* LNEC. 2000.
20. **Awbi.** *Ventilation of buildings,* 2003. 2003.
21. **VIEGAS, J. C.** *VENTILAÇÃO NATURAL DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. EDIFÍCIOS 4,* LNEC. LISBOA, 2002.
22. **PINTO, M., J. VIEGAS e V.P. de FREITAS.** *Air permeability measurements of dwellings and building components in Portugal. Building and Environment,* 46. Elsevier: 2011.
23. **Fanger, P.O.** *What is IAQ? Indoor air.* 2006.
24. **SHAW, C.Y.** *FACTORS AFFECTING THE PERFORMANCE OF VENTILATION SYSTEMS IN LARGE BUILDINGS. INSTITUTE FOR RESEARCH IN CONSTRUCTION. NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. OTAWA,* 1999.
25. **SILVA, FERNANDO S.** *ACÇÕES QUE PROMOVEM A VENTILAÇÃO NATURAL. AMBIENTE EM EDIFÍCIOS URBANOS,* LNEC. LISBOA, 2000.
26. **Santos, J.** *Avaliação experimental dos níveis de qualidade do ar interior em quartos de dormir. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa* 2008.
27. **Silva, Joaquim M. B.** *A Ventilação natural como melhoria do desempenho energético de edifícios residenciais. Faculdade de Ciências e Tecnologia.* 2012.
28. **APA.** *Qualidade do ar em Espaços Interiores – Um Guia Técnico.* Agência Portuguesa do Ambiente (APA). 2009.
29. **5925, BS.** *CODE OF PRACTICE FOR: VENTILATION PRINCIPLES AND DESIGNING FOR NATURAL VENTILATION, BRITISH STANDARDS INSTITUTION, LONDON.* (1991) .
30. **HENRIQUES, F.A.** *Comportamento higrotérmico de edifícios.* Almada : Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, 2001.
31. **LIDDAMENT, M. W.** *A guide to energy efficient ventilation. AIVC, Great Britain.* 1996.
32. **RECS.** *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.* s.l. : Diário da República - Decreto- Lei n.º 118/2013, 2013.
33. **WHO (World Health Organization).** *Children's health and environment Developing action plans.* 2005.

34. **Nogueira, Susana Teresa de Azevedo.** *Desenho Arquitetónico, Ventilação e Saúde em Creches e Jardins de Infância* . Faculdade de Arquitectura Universidade Técnica de Lisboa. 2012.
35. **Mendes, A, Pereira, C e Mendes, D.** *Aguiar, L; Neves, P; Silva, S; Batterman, S; Teixeira, João P. INDOOR AIR QUALITY AND THERMAL COMFORT—RESULTS OF A PILOT STUDY IN ELDERLY CARE CENTERS IN PORTUGAL,*Journal of Toxicology and Environmental Health. 2013.
36. **Observatório Nacional das Doenças Respiratórias.** *Relatório : A sociedade, o cidadão e as doenças respiratórias.* s.l. : Fundação Portuguesa do Pulmão, 2012.
37. **Labat, Matthieu, Woloszyn, Monica e Roux, Géraldine Garnier e Jean Jacques.** *Assessment of the air change rate of airtight buildings under natural conditions using the tracer gas technique. Comparison with numerical modelling.* 2013.
38. **SIOBHAN AINE BRADSHAW, E. DIANE PLAYFORD, AFSANE RIAZI.** *Living well in care homes: a systematic review of qualitative studies.* 2012.
39. **Bøkenes, Lise, et al.** *Annual variations in indoor climate in the homes of elderly persons living in Dublin, Ireland and Tromsø, Norway.* 2009.
40. **Hospodsky, Denina e Qian, Jing** . *Human Occupancy as a Source of Indoor Airborne Bacteria.* 2012.
41. **Hoof, Joost van.** *Thermal Confort and Older Adults.* 2006.
42. **Korhonen, I.** *Health monitoring in the home of the future.* 2003.

7.1 Gráficos do Grupo A

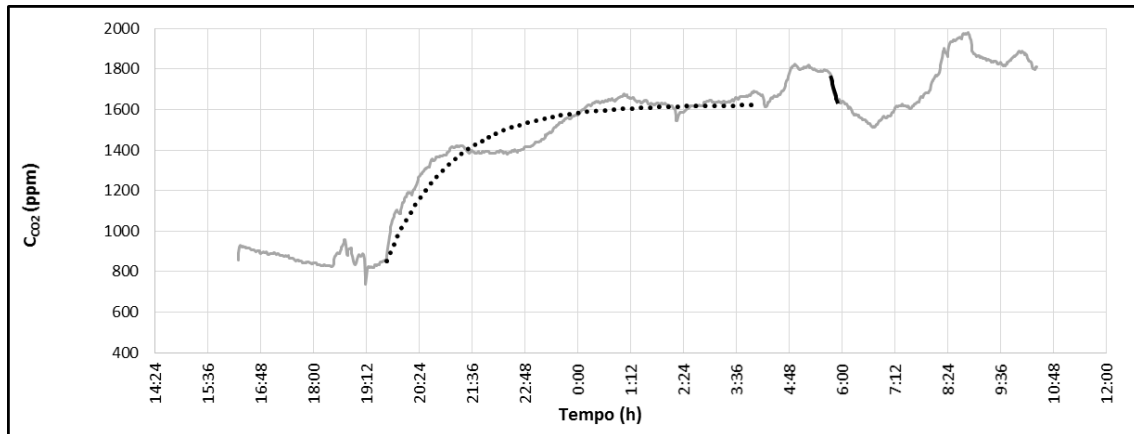


Figura 7.1 - Gráfico G1

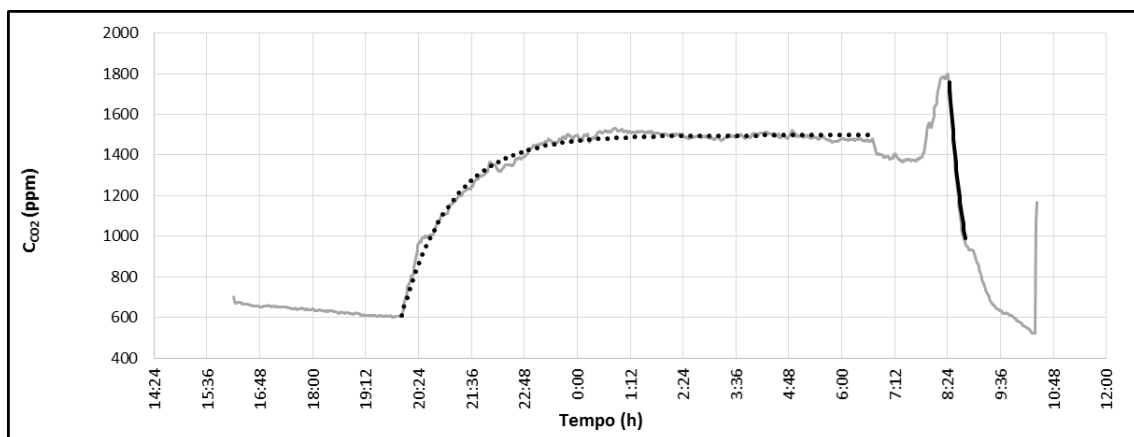


Figura 7.2 - Gráfico G2

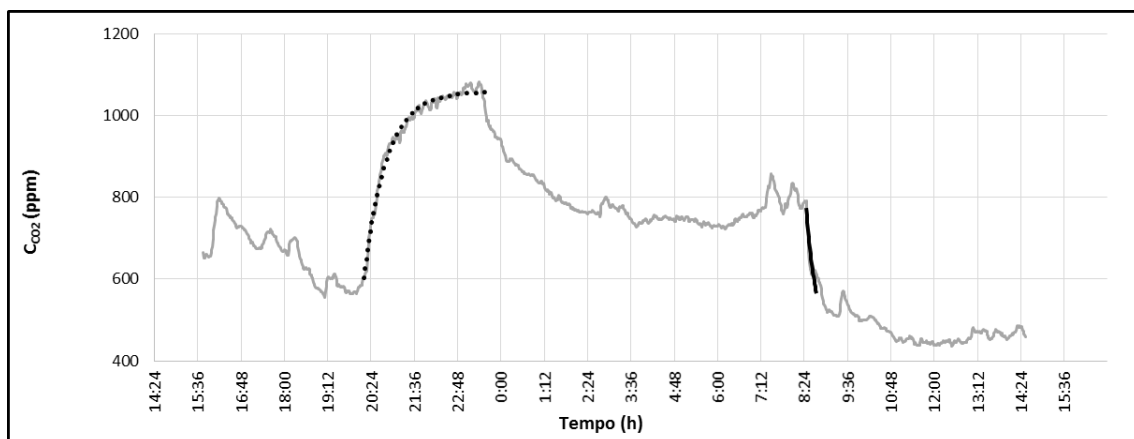


Figura 7.3 - Gráfico G7

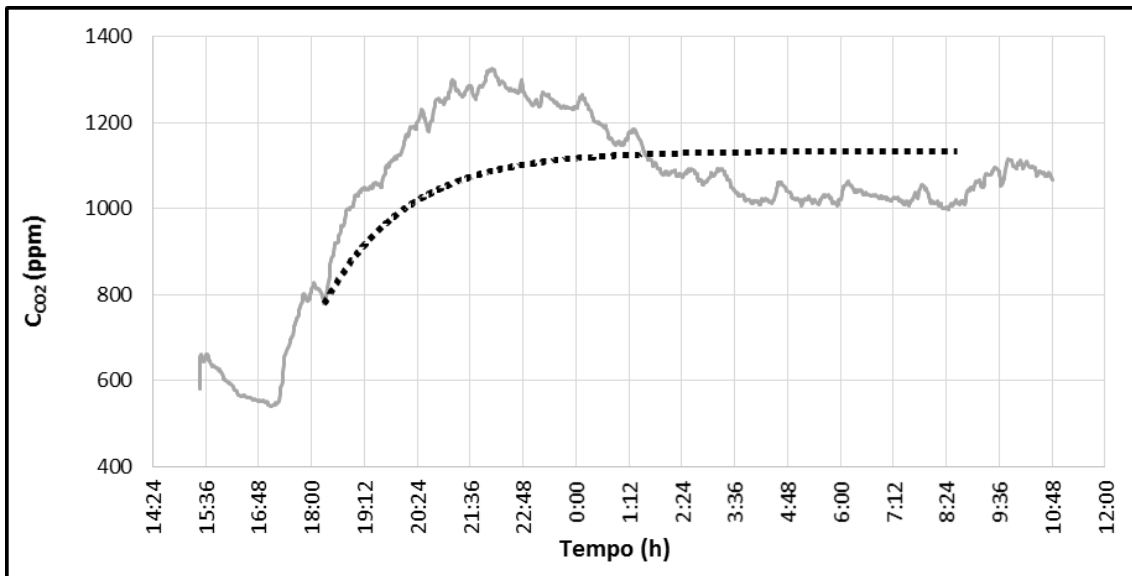


Figura 7.4 - Gráfico G12

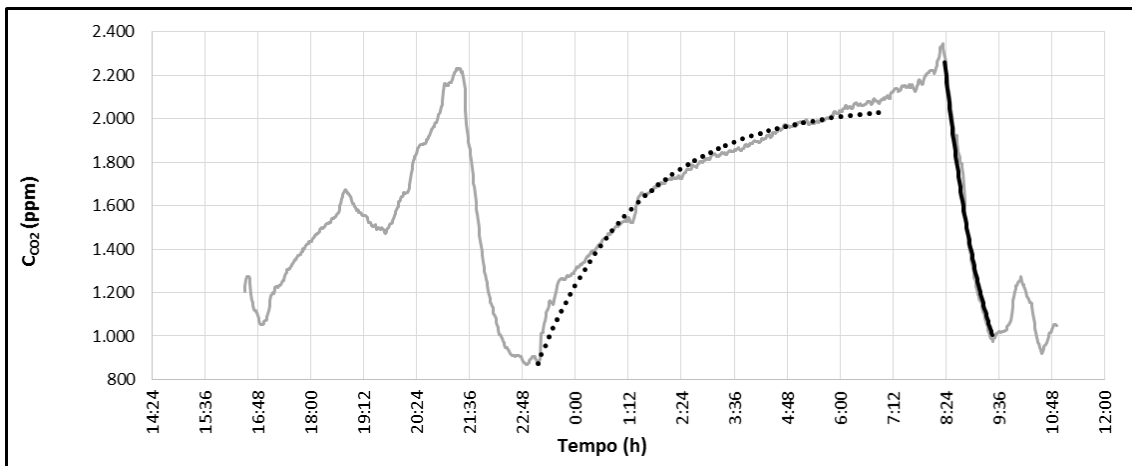


Figura 7.5 - Gráfico G14

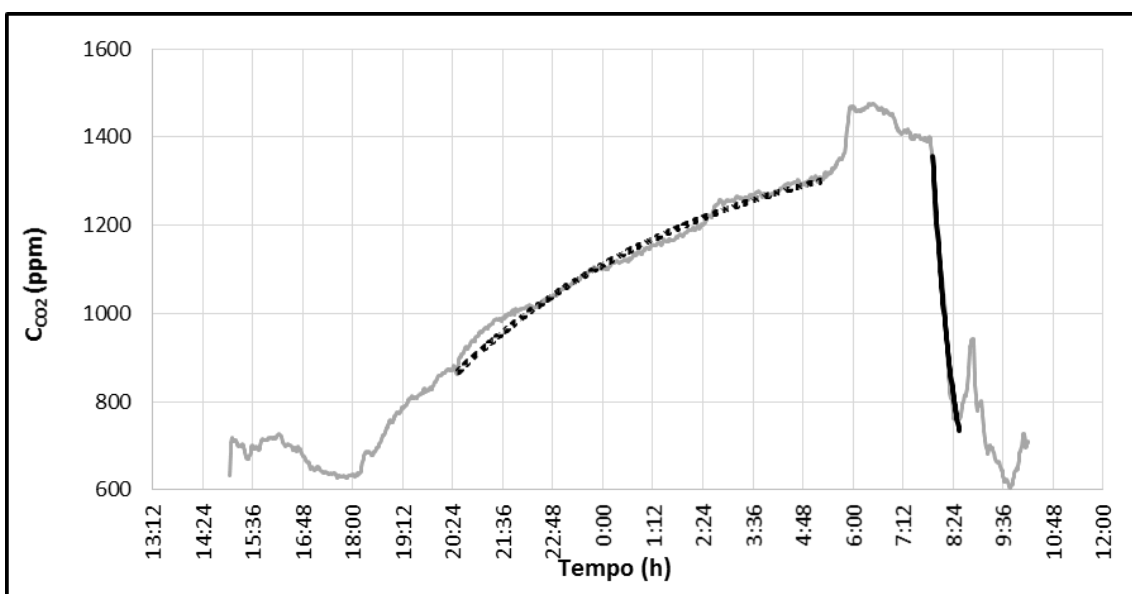


Figura 7.6 - Gráfico G15

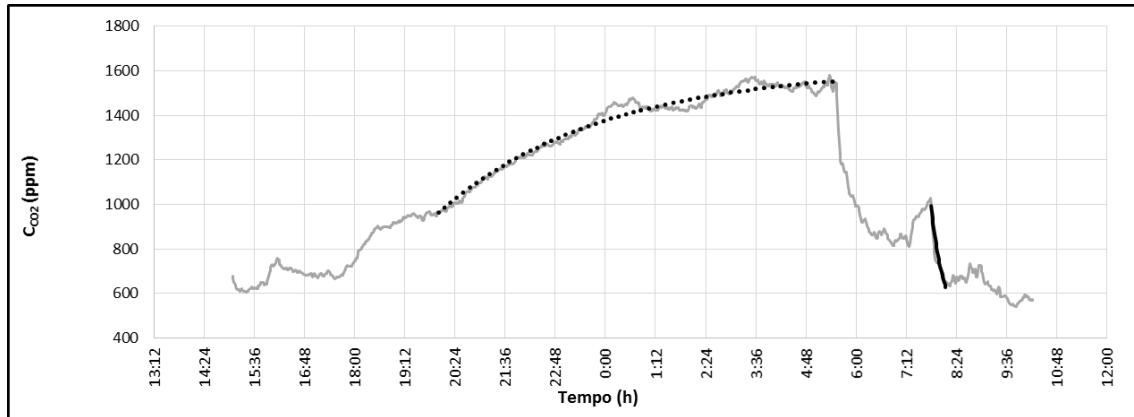


Figura 7.7 - Gráfico G17

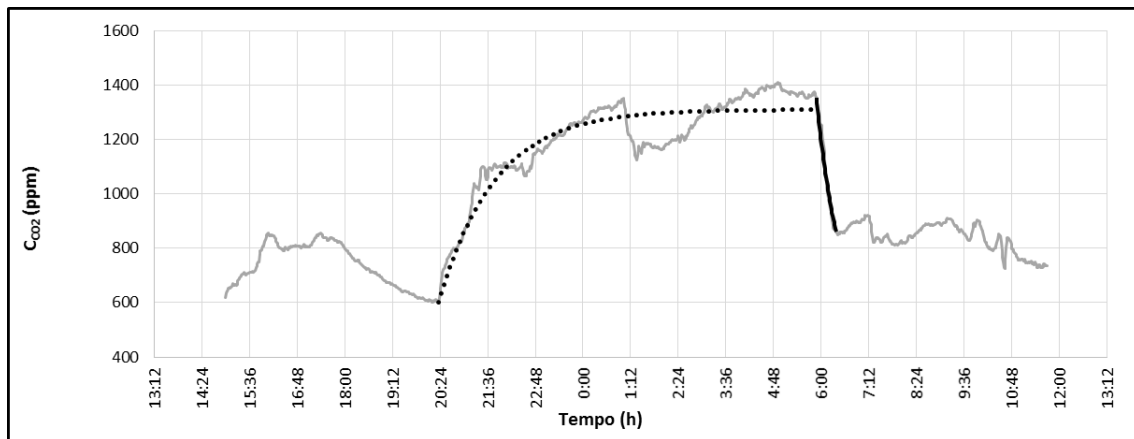


Figura 7.8 - Gráfico G19

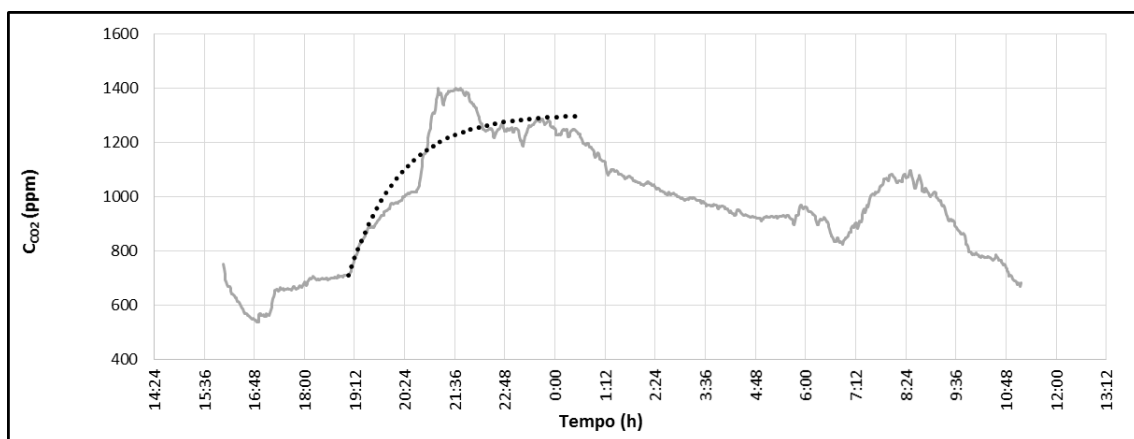


Figura 7.9 - Gráfico G20

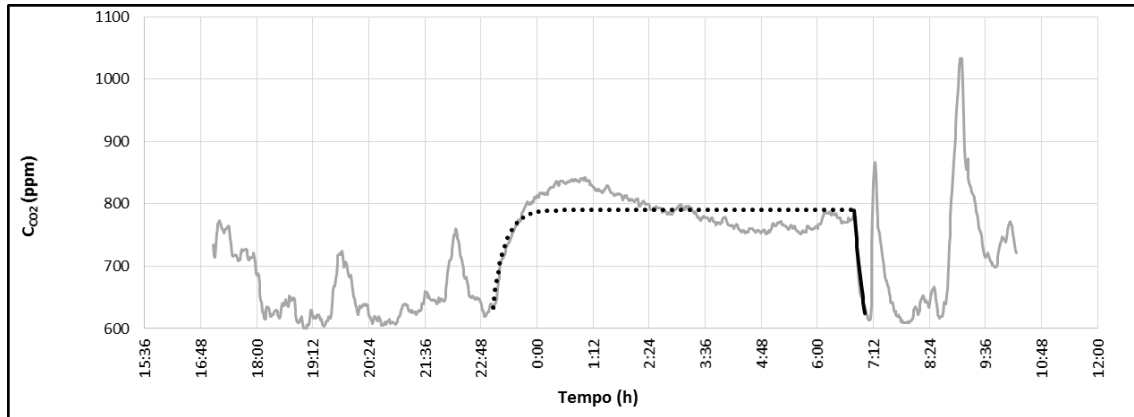


Figura 7.10 - Gráfico G24

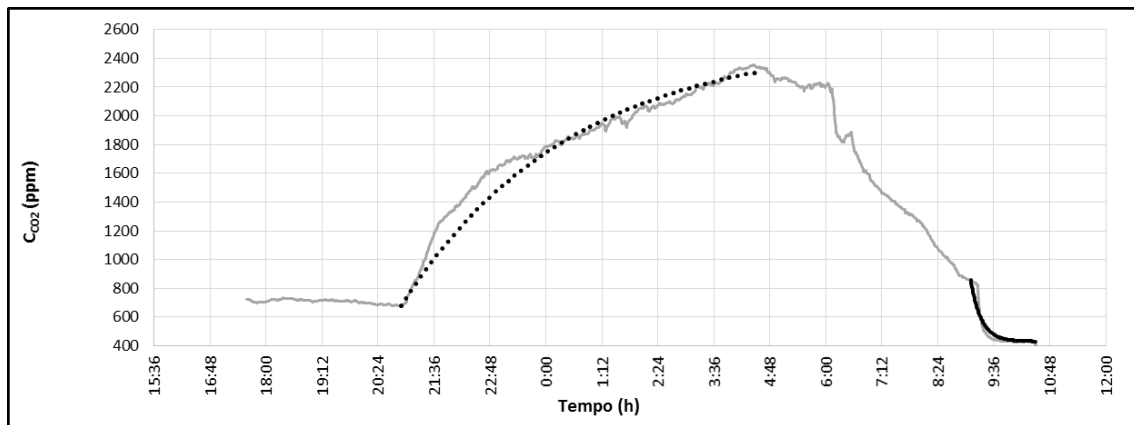


Figura 7.11 - Gráfico G27

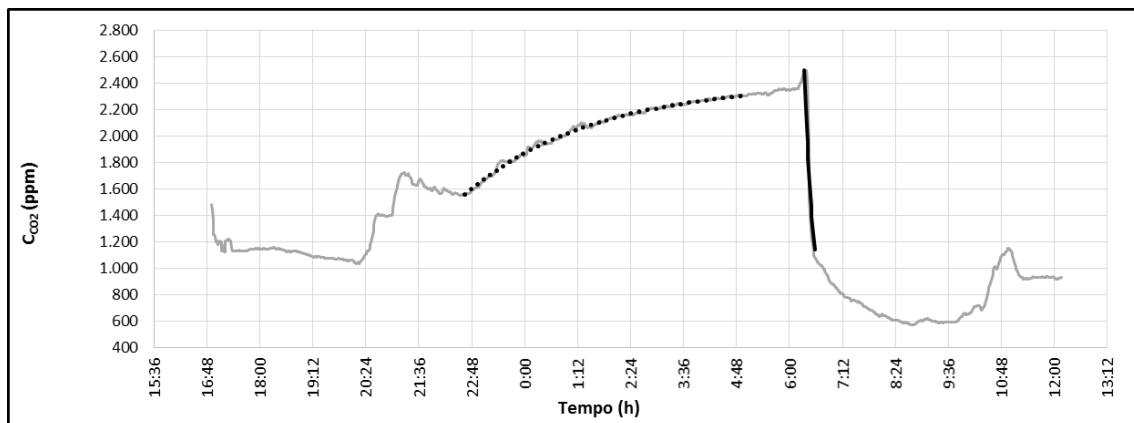


Figura 7.12 - Gráfico G31

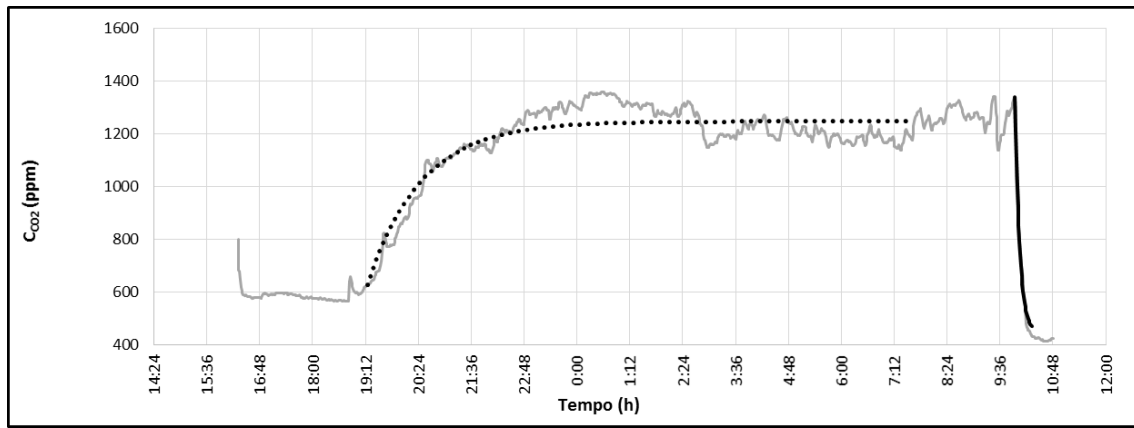


Figura 7.13 - Gráfico G33

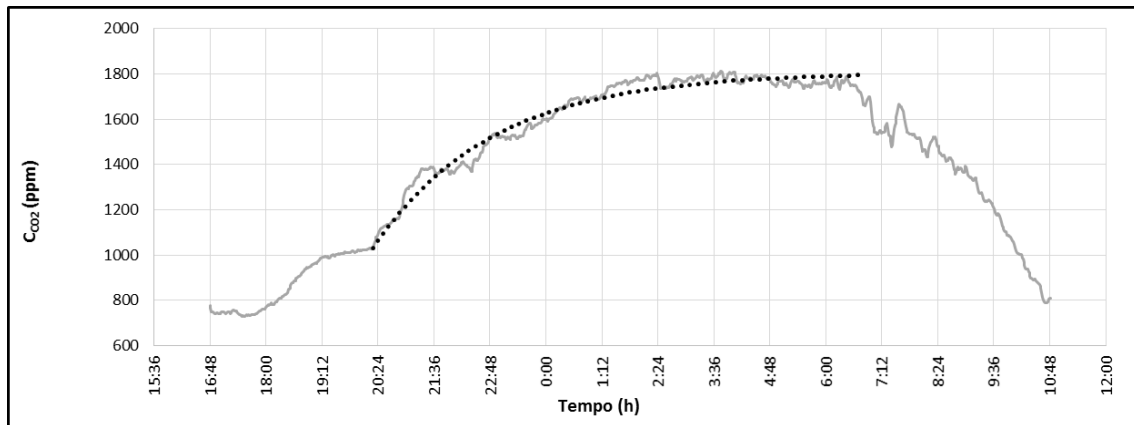


Figura 7.14 - Gráfico G38

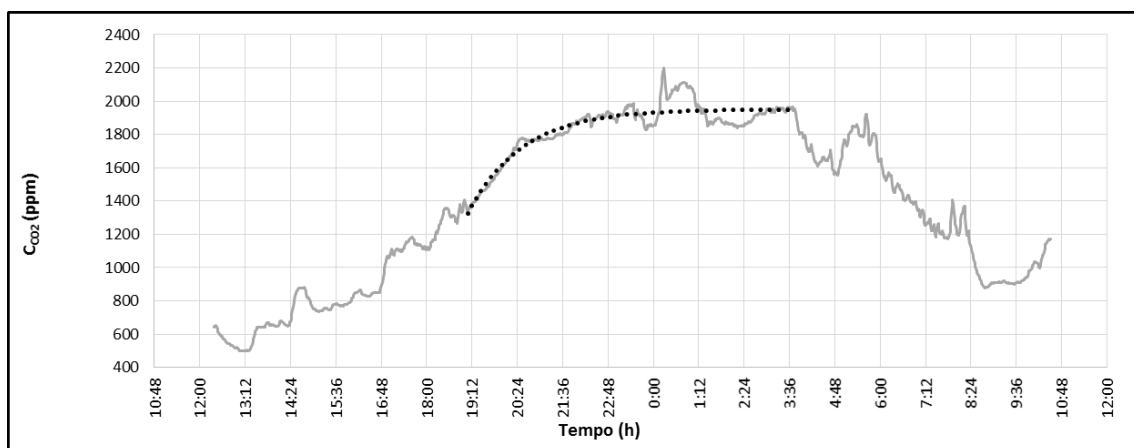


Figura 7.15 - Gráfico G42

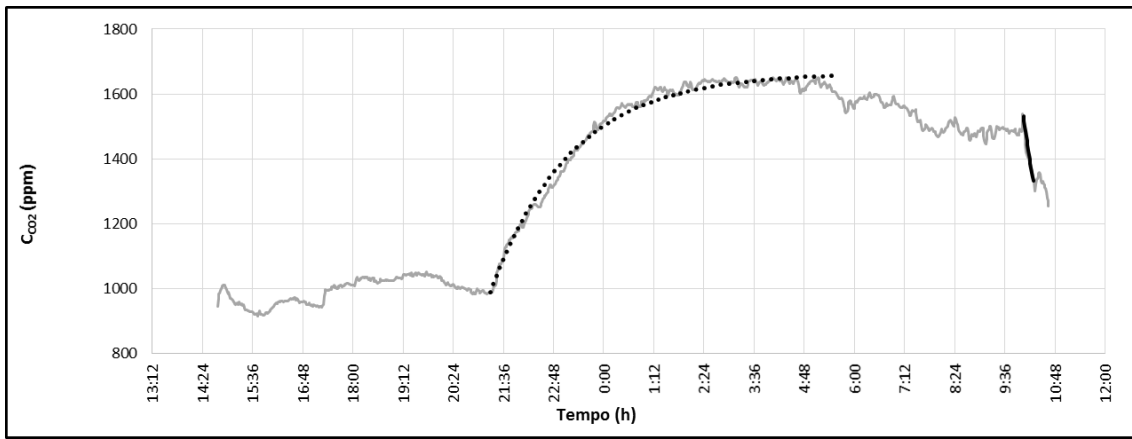


Figura 7.16 - Gráfico G45

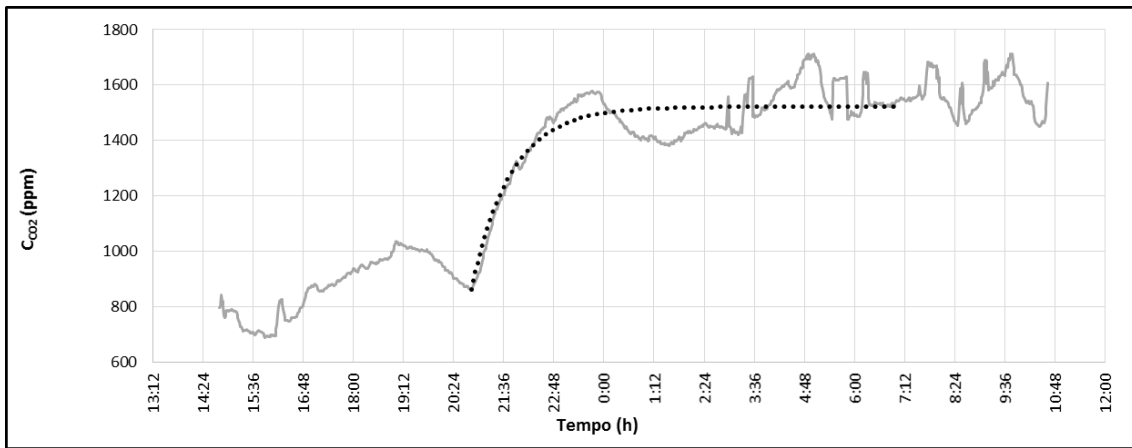


Figura 7.17 - Gráfico G46

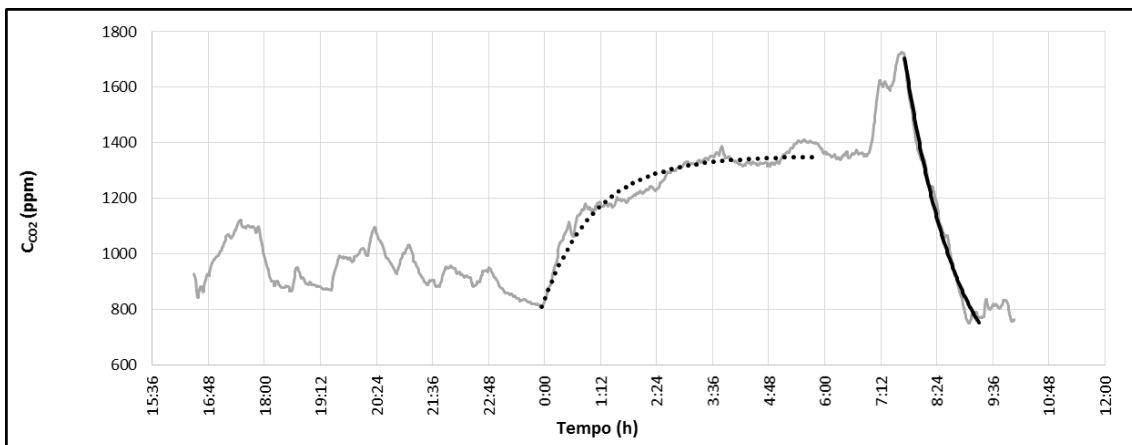


Figura 7.18 - Gráfico G48

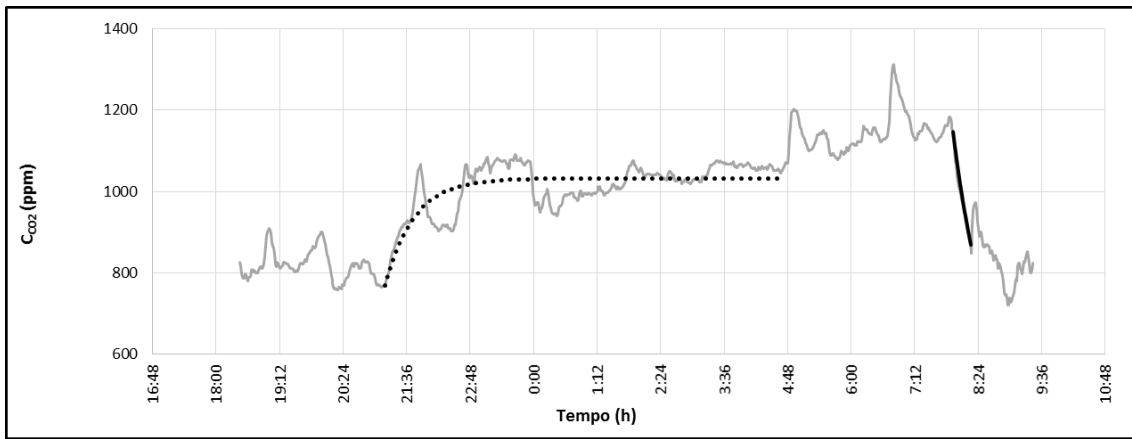


Figura 7.19 - Gráfico G49

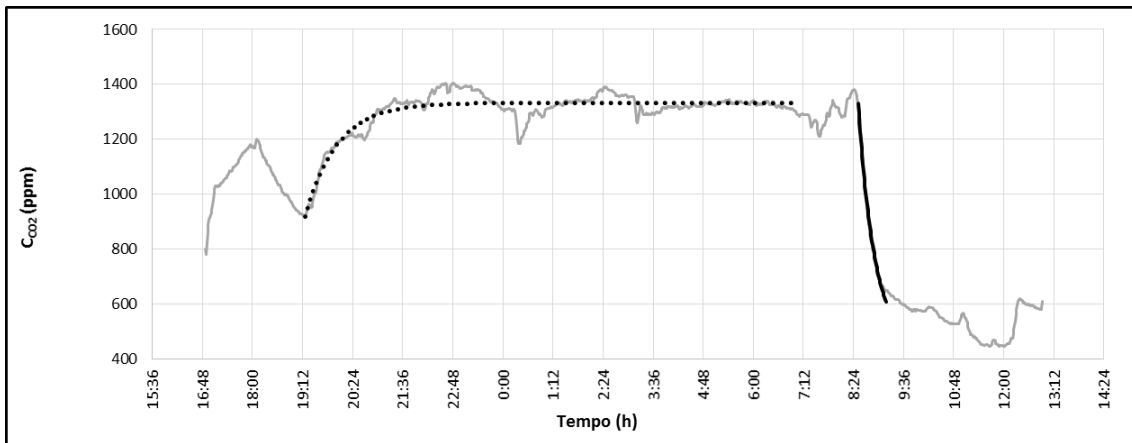


Figura 7.20 - Gráfico G51

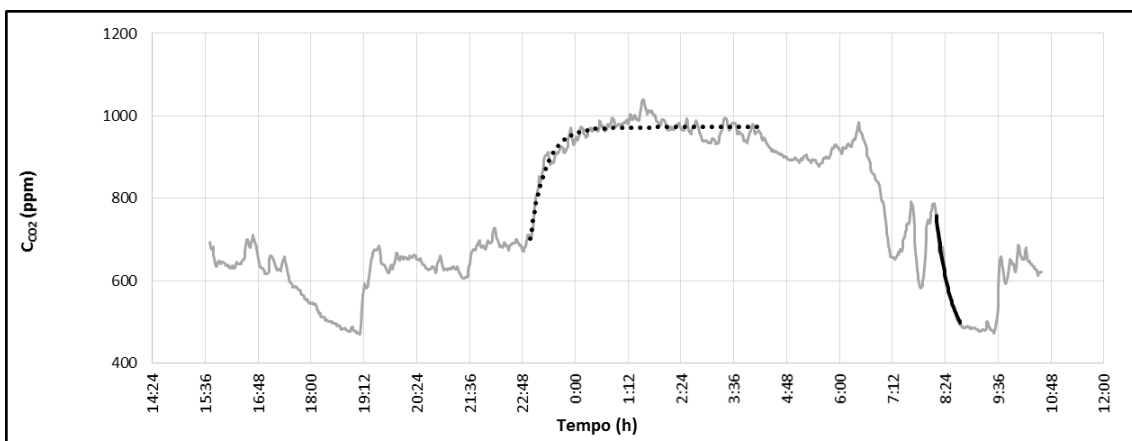


Figura 7.21 - Gráfico G55

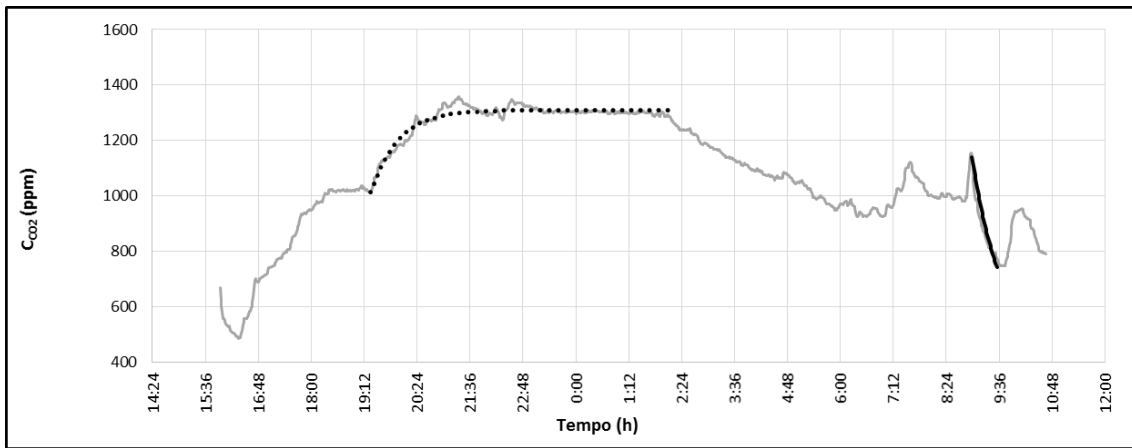


Figura 7.22 - Gráfico G56

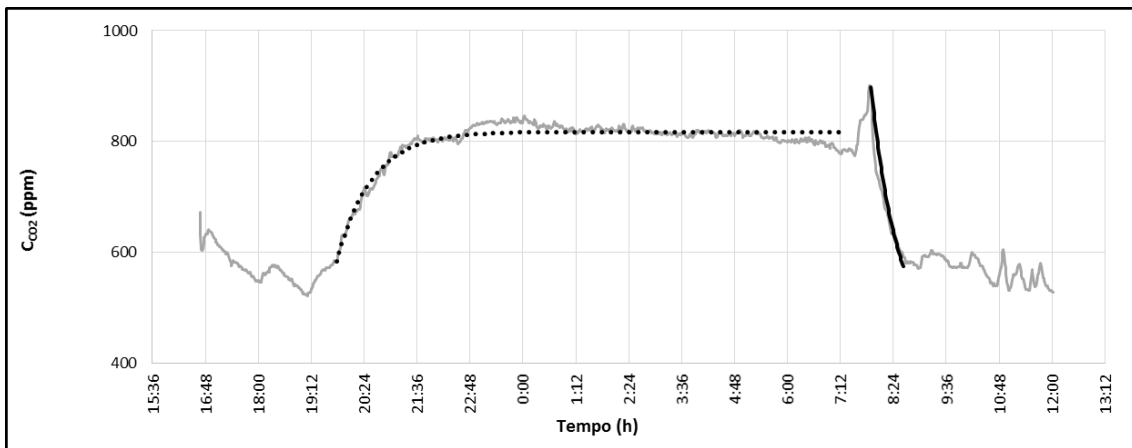


Figura 7.23 - Gráfico G57

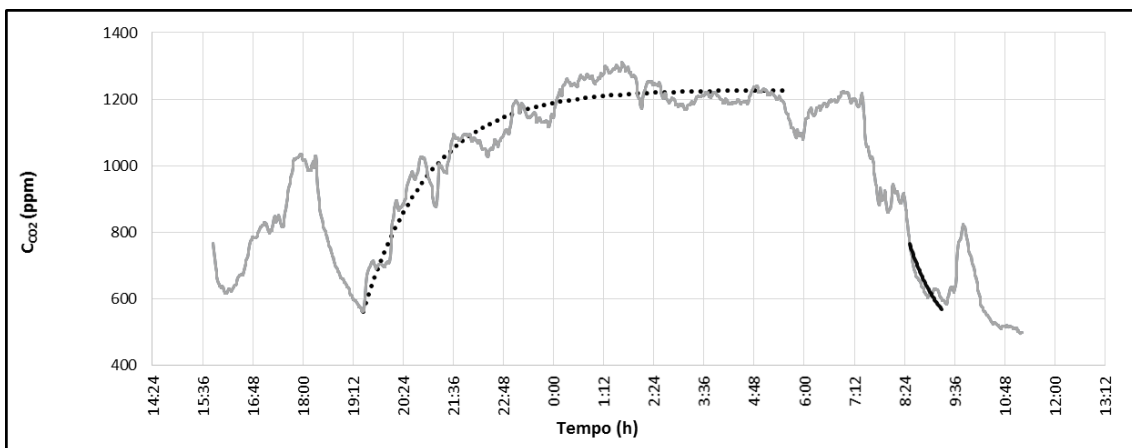


Figura 7.24 - Gráfico G60

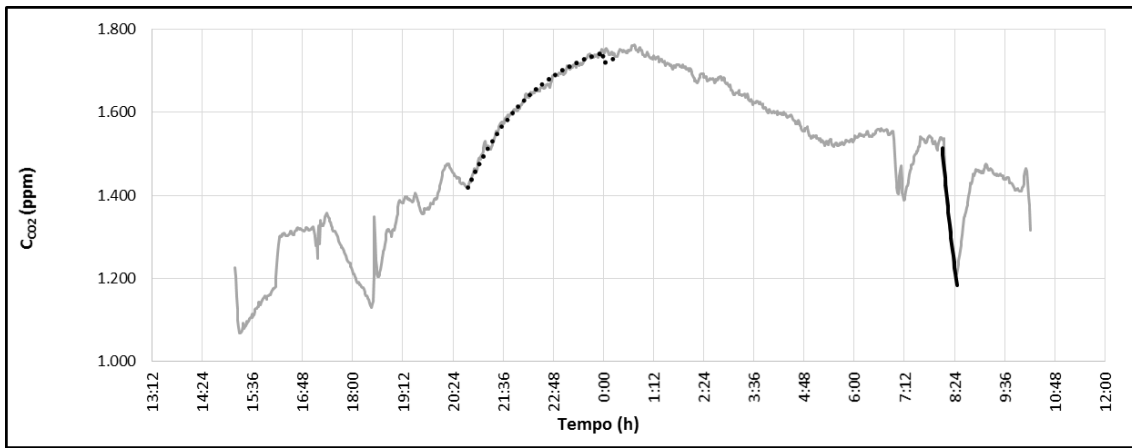


Figura 7.25 - Gráfico G65

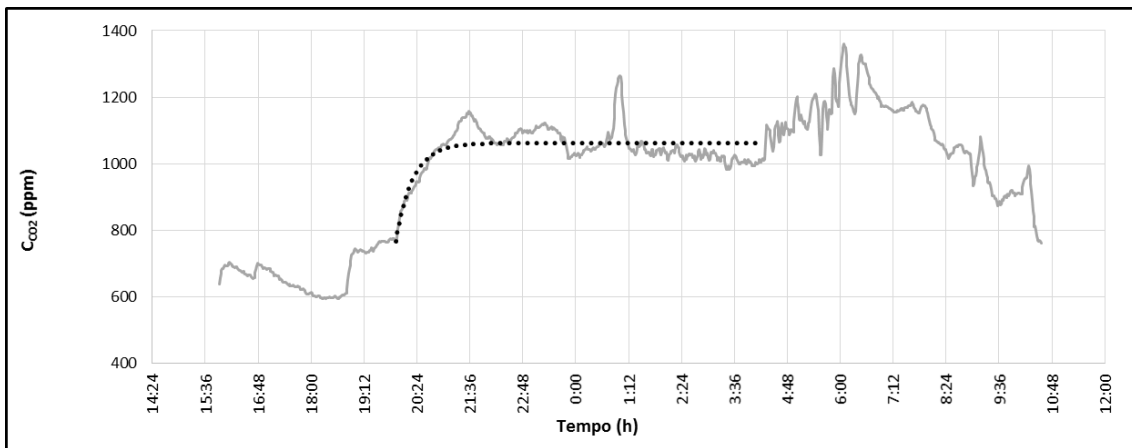


Figura 7.26 - Gráfico G66

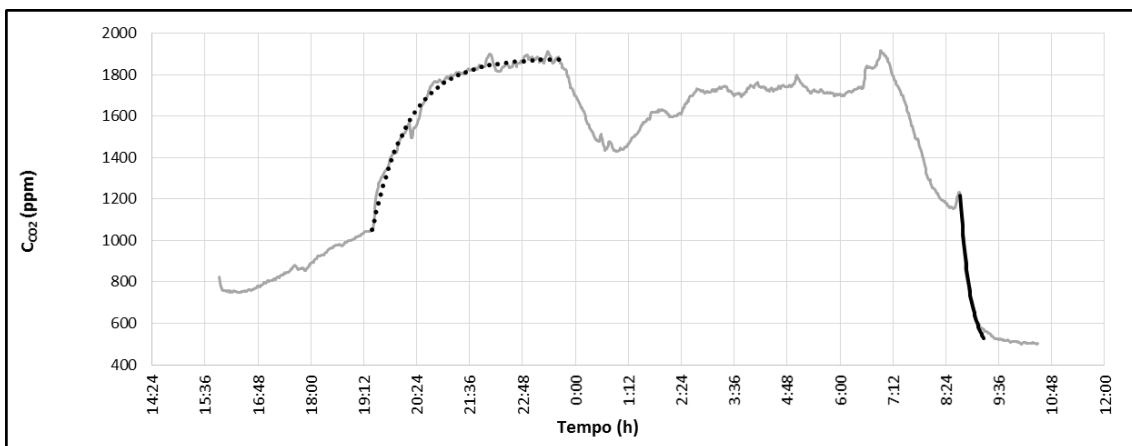


Figura 7.27 - Gráfico G72

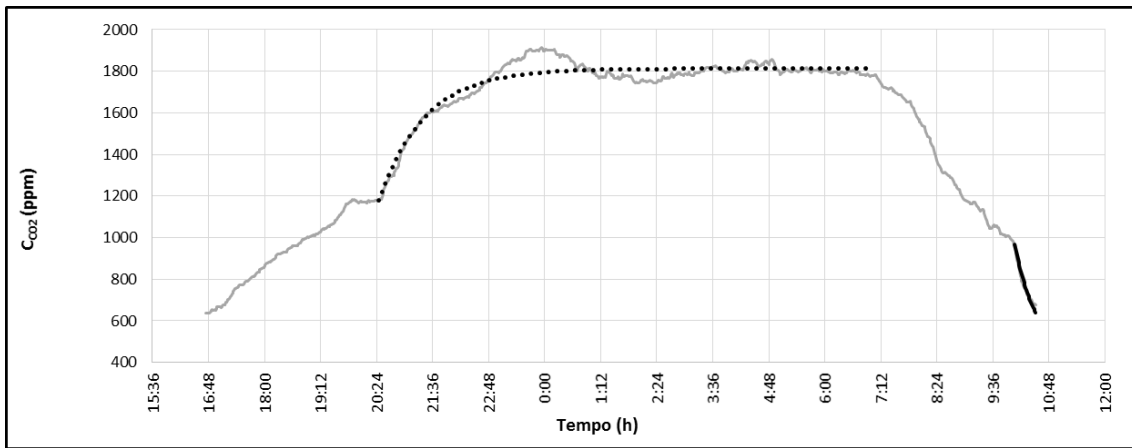


Figura 7.28 - Gráfico G73

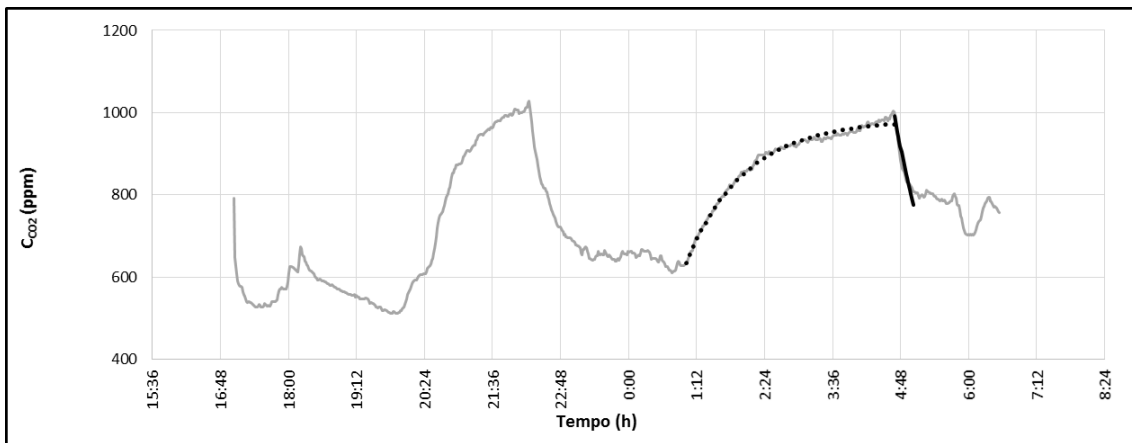


Figura 7.29 - Gráfico G78

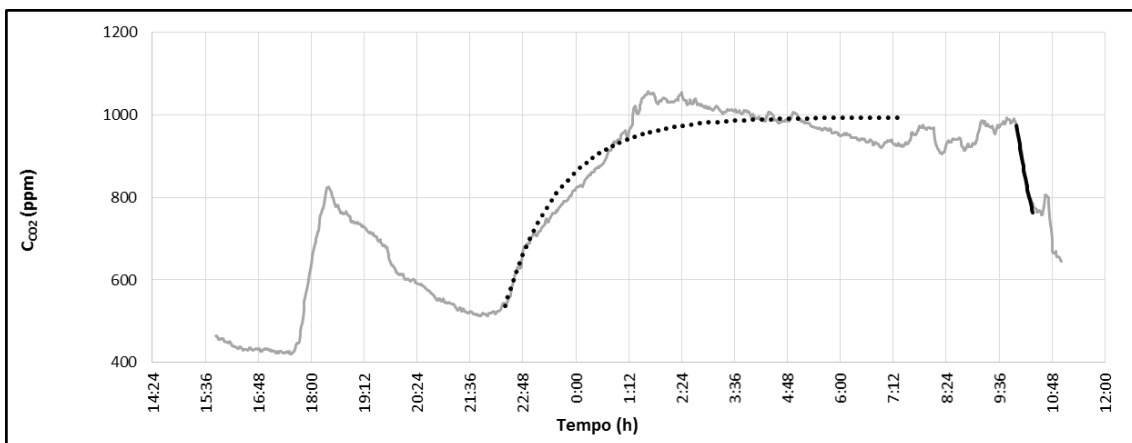


Figura 7.30 - Gráfico G79

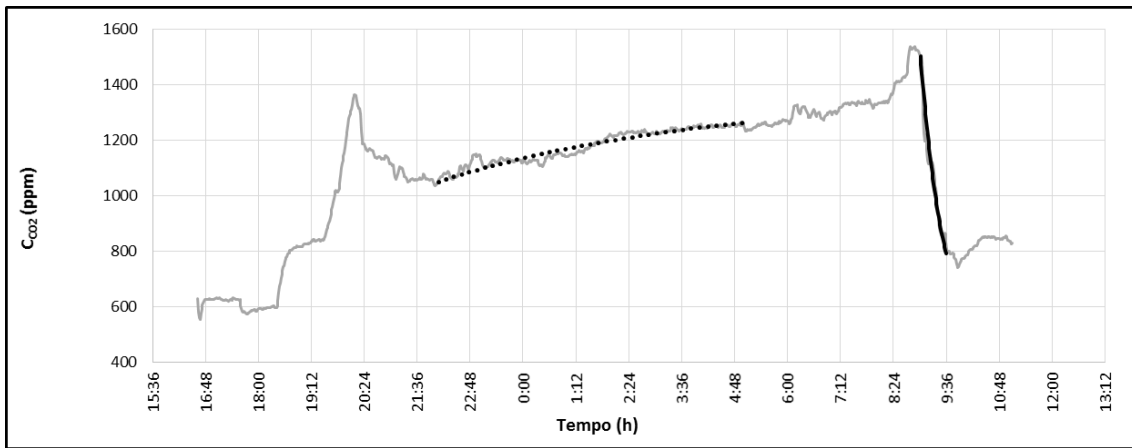


Figura 7.31 - Gráfico G82

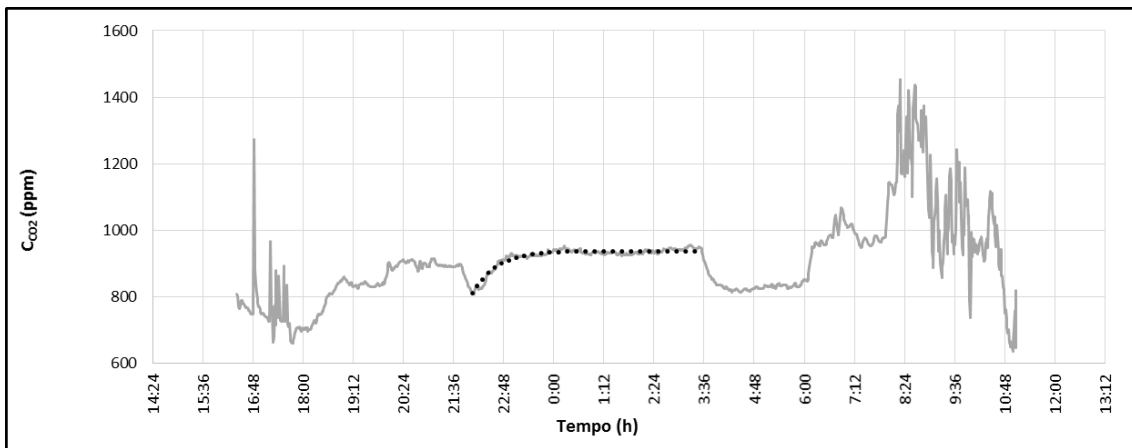


Figura 7.32 - Gráfico G83

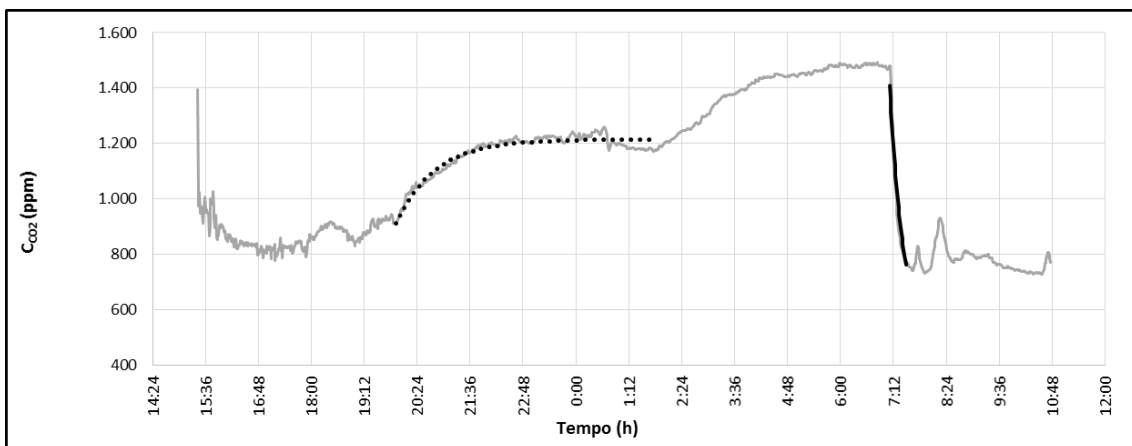


Figura 7.33 - Gráfico G86

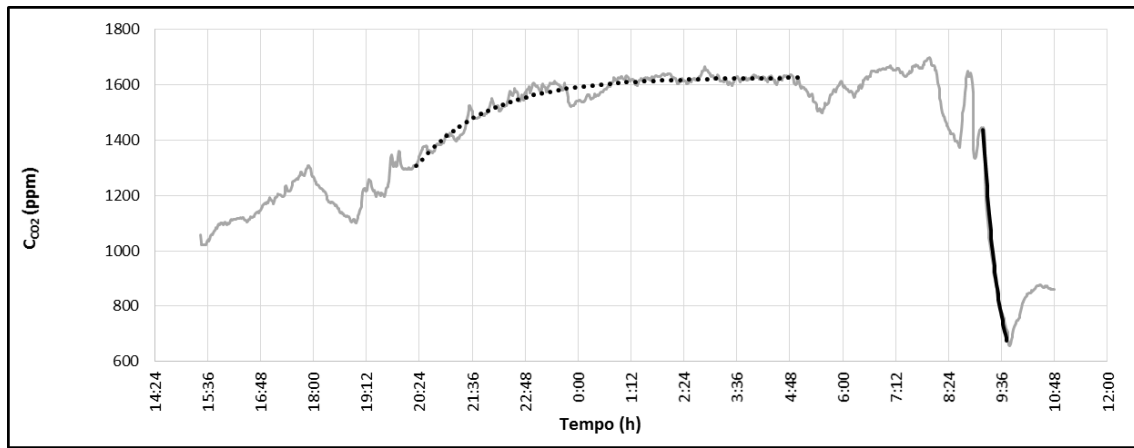


Figura 7.34 - Gráfico G92

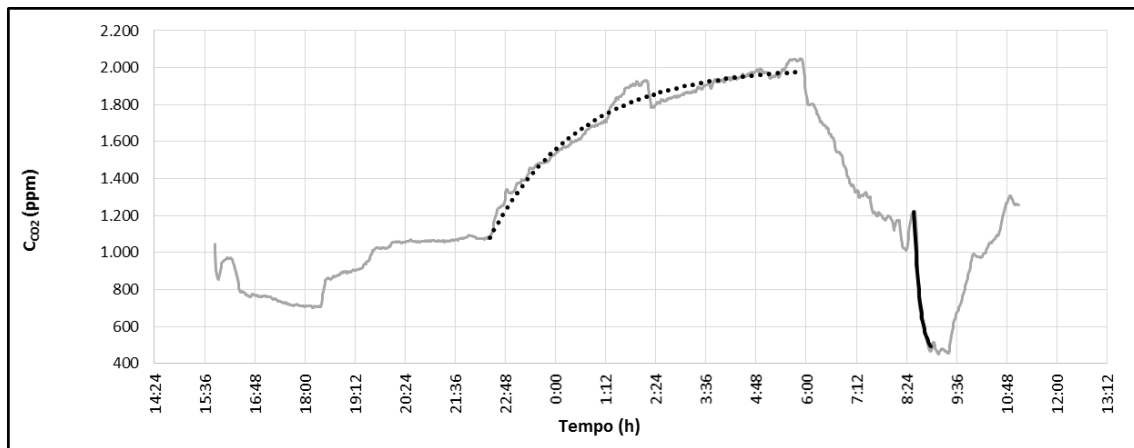


Figura 7.35 - Gráfico G98

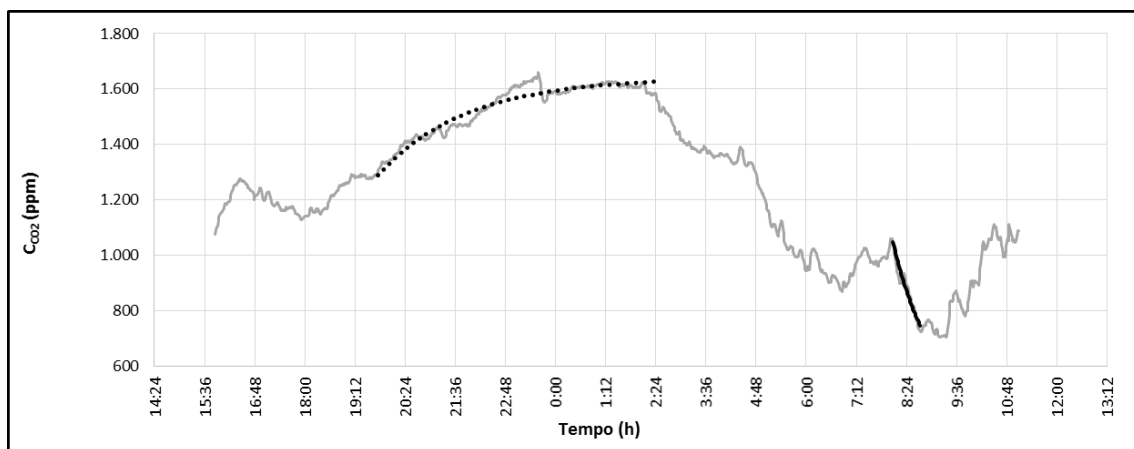


Figura 7.36 - Gráfico G99

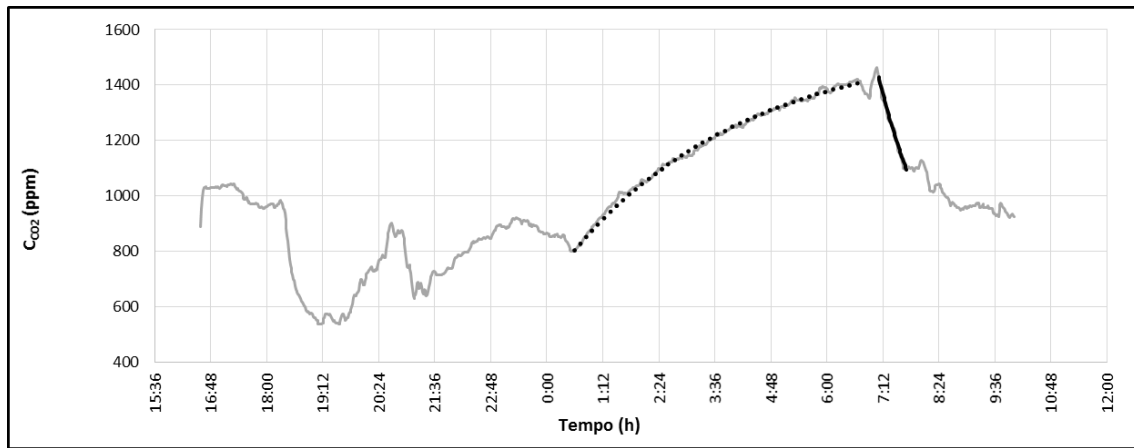


Figura 7.37 - Gráfico G100

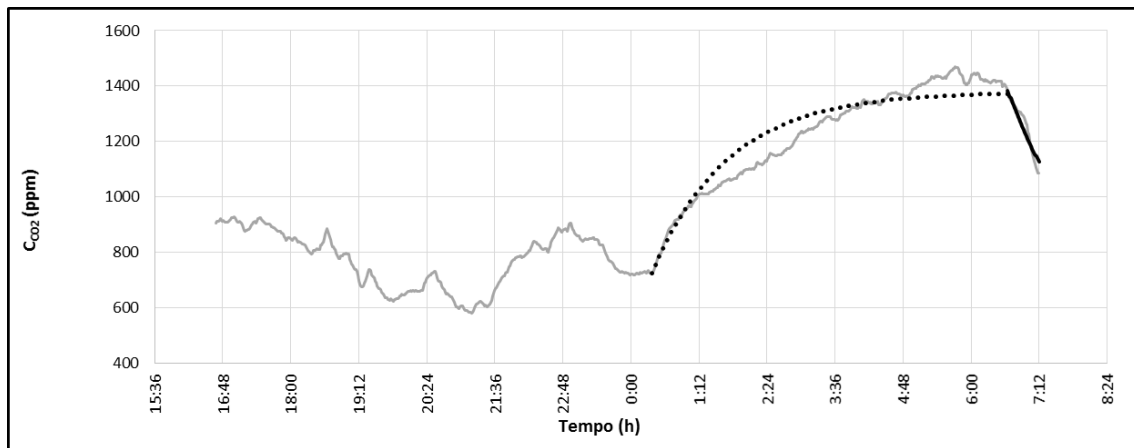


Figura 7.38 - Gráfico G102

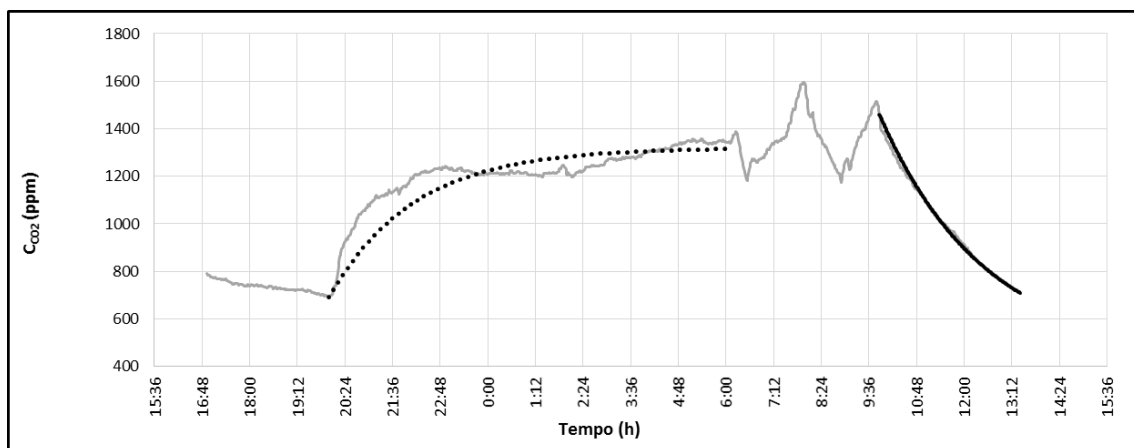


Figura 7.39 - Gráfico G103

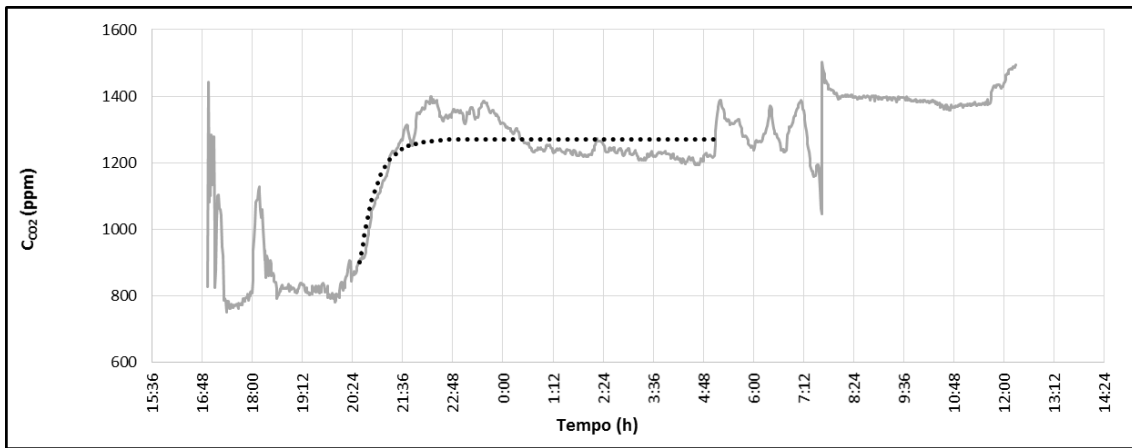


Figura 7.40 - Gráfico G105

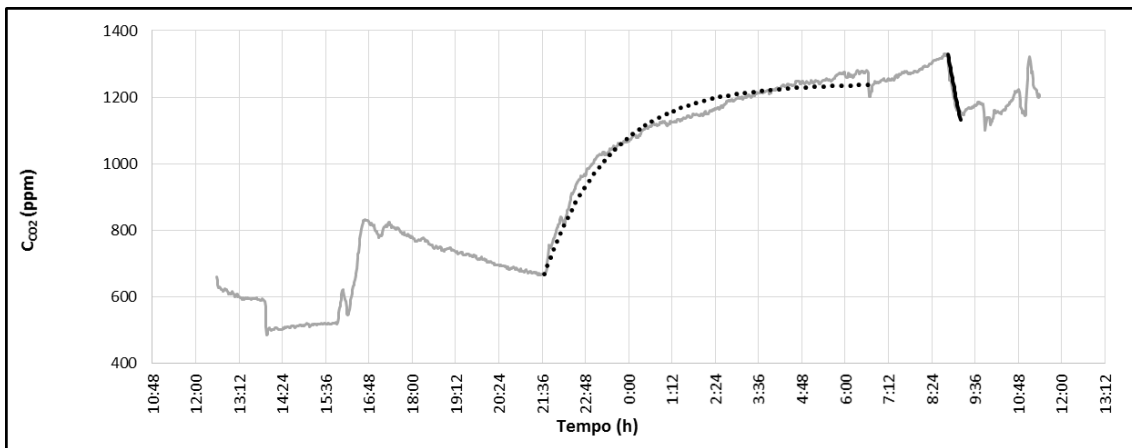


Figura 7.41 - Gráfico G106

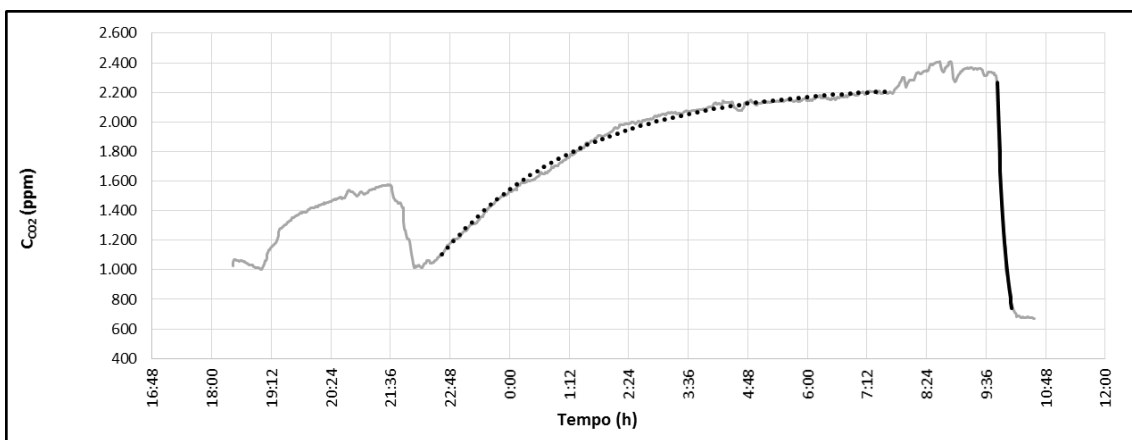


Figura 7.42 - Gráfico G109

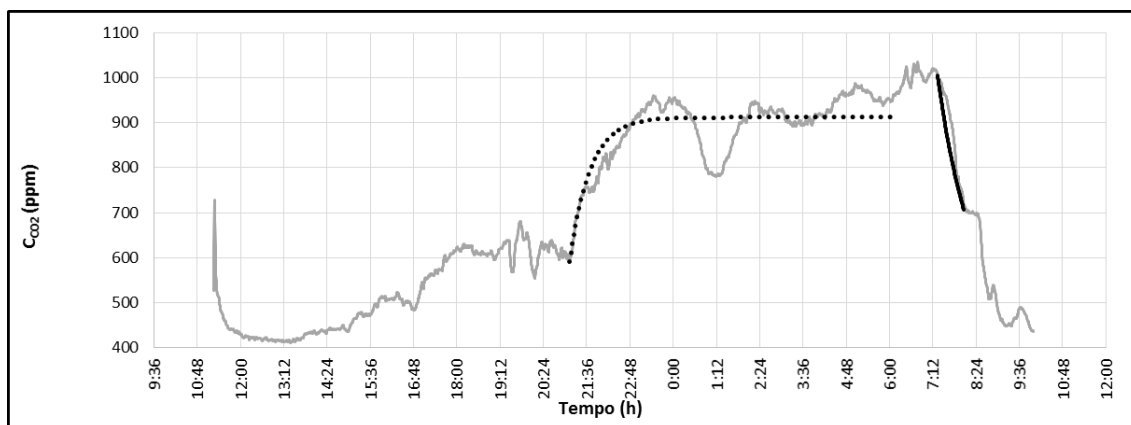


Figura 7.43 - Gráfico G117

7.2 Gráficos do Grupo B

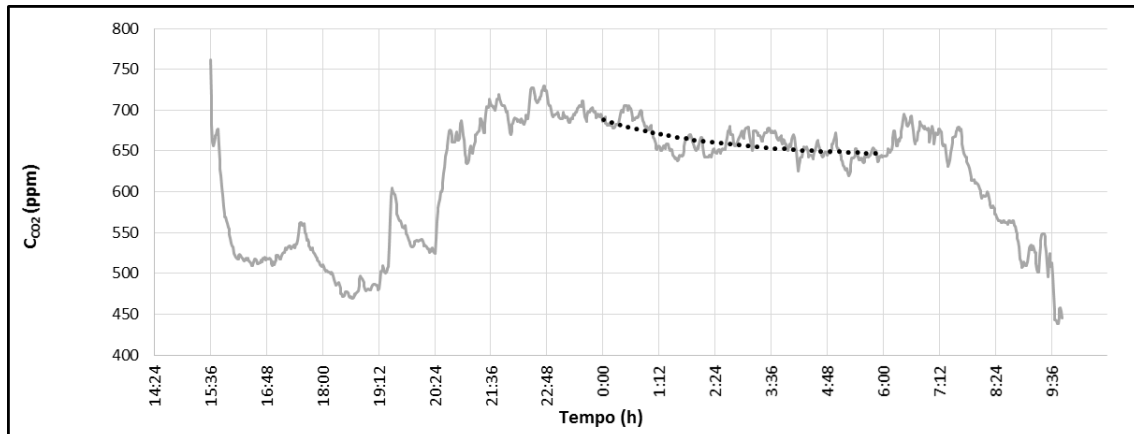


Figura 7.44 - Gráfico G6

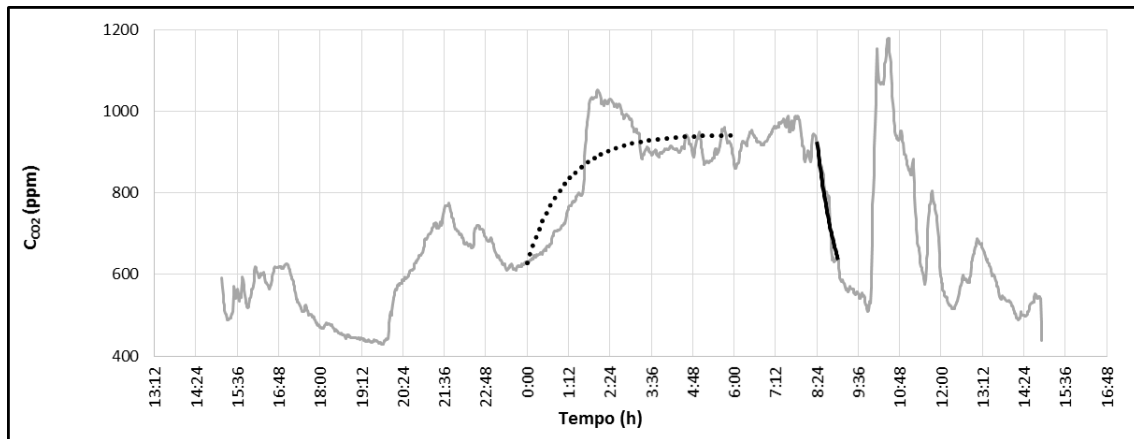


Figura 7.45 - Gráfico G10

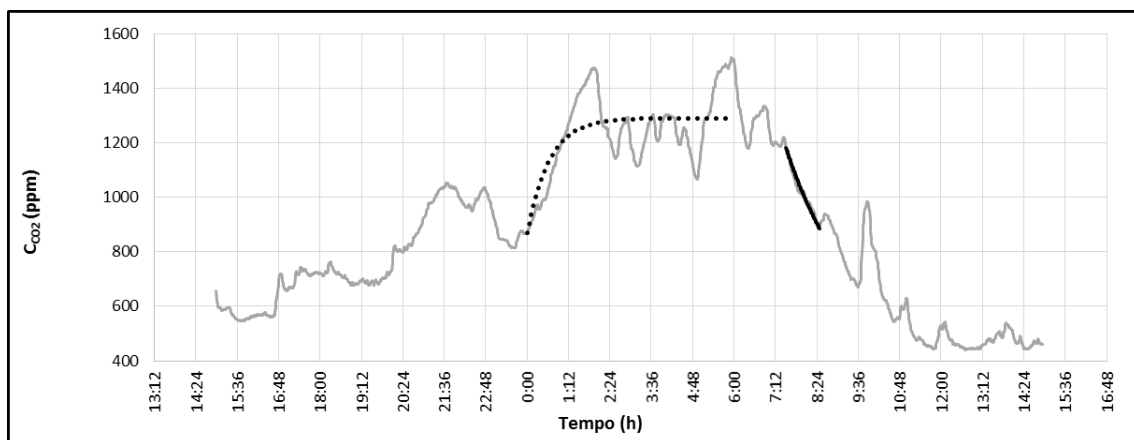


Figura 7.46 - Gráfico G11

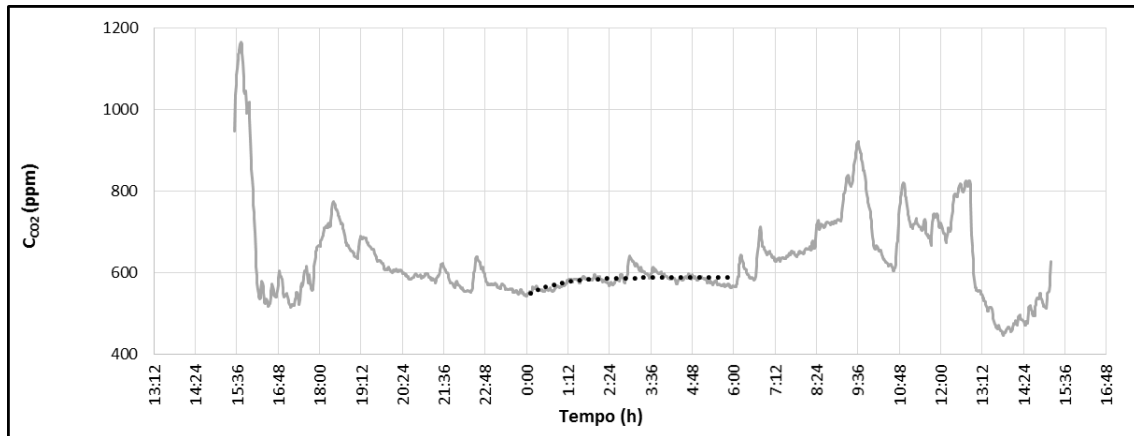


Figura 7.47 - Gráfico G22

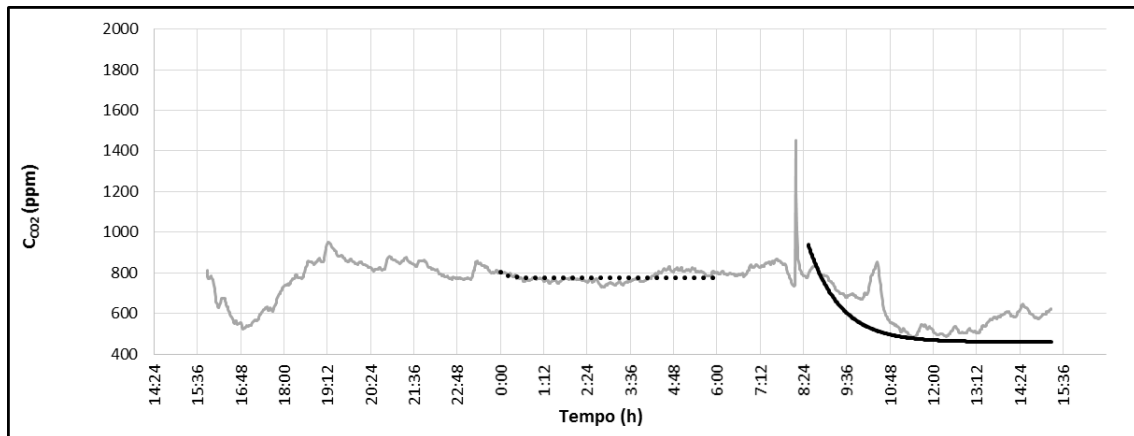


Figura 7.48 - Gráfico G23

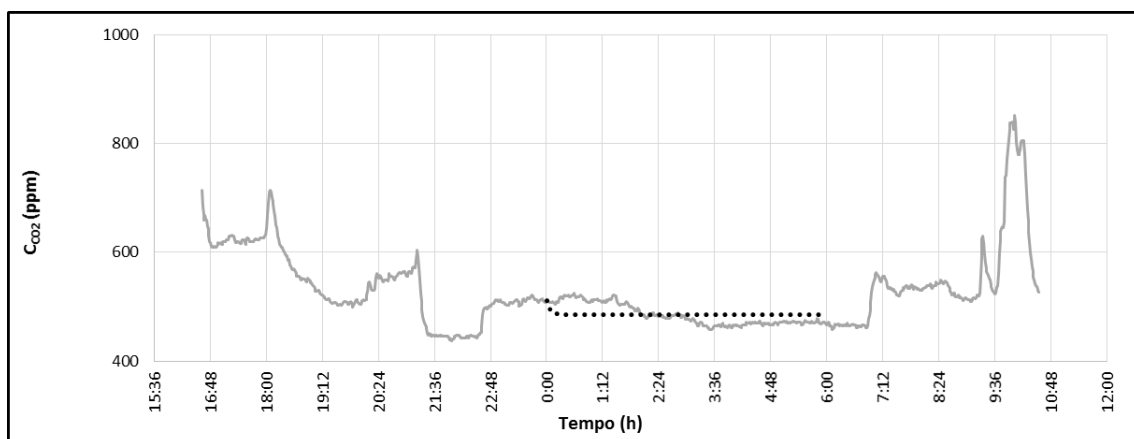


Figura 7.49 - Gráfico G25

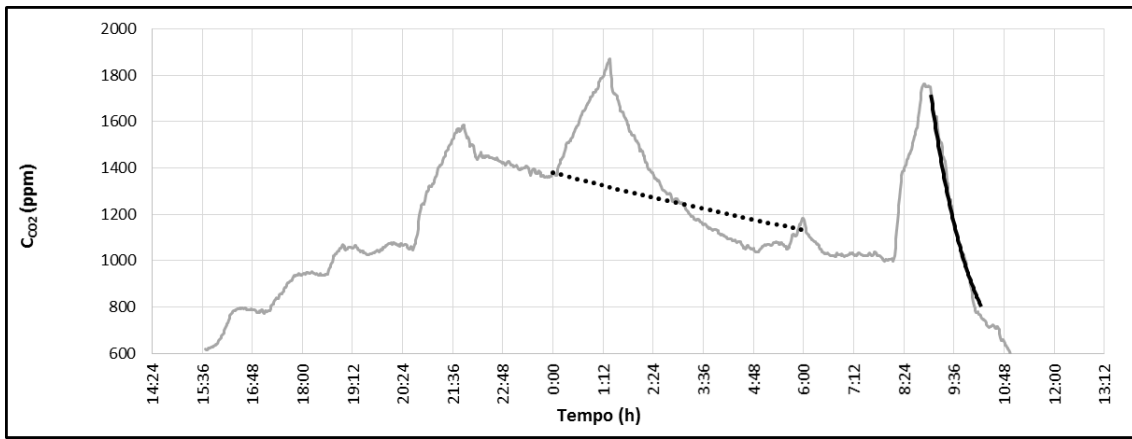


Figura 7.50 - Gráfico G28

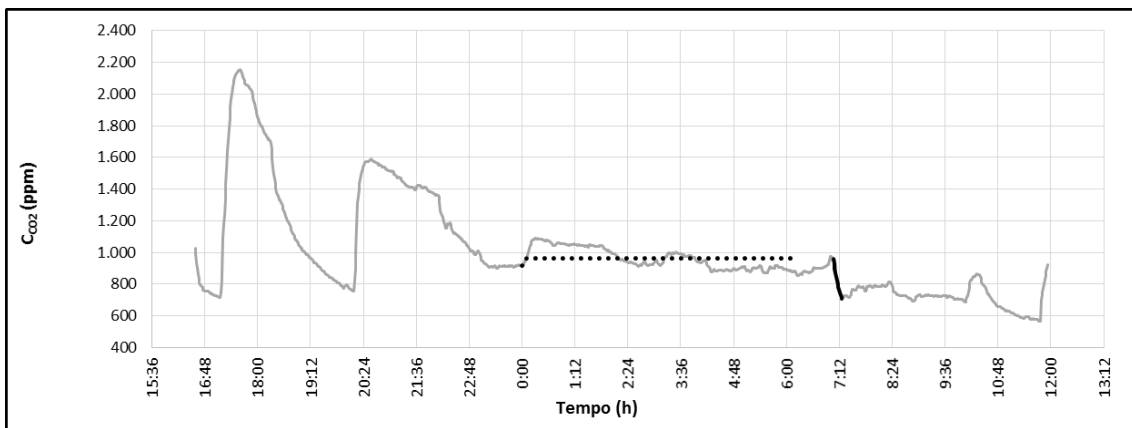


Figura 7.51 - Gráfico G35

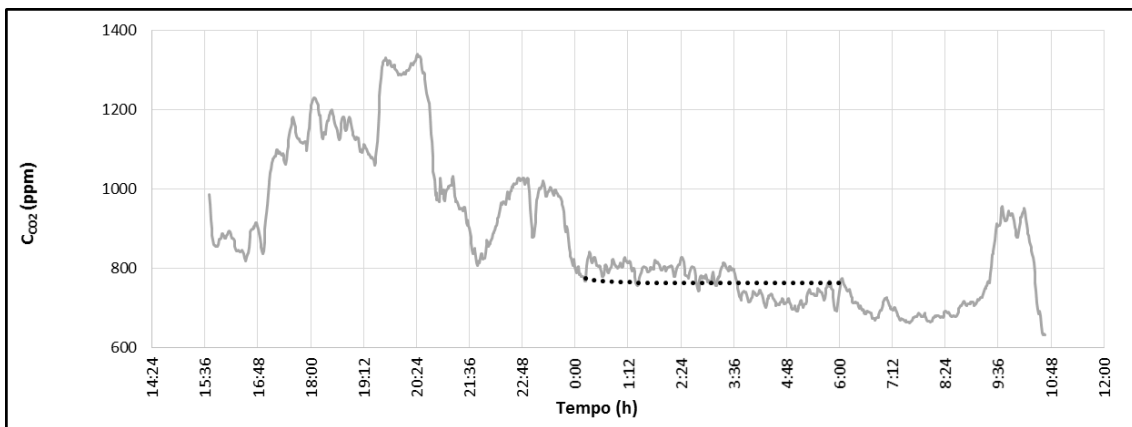


Figura 7.52 - Gráfico G37

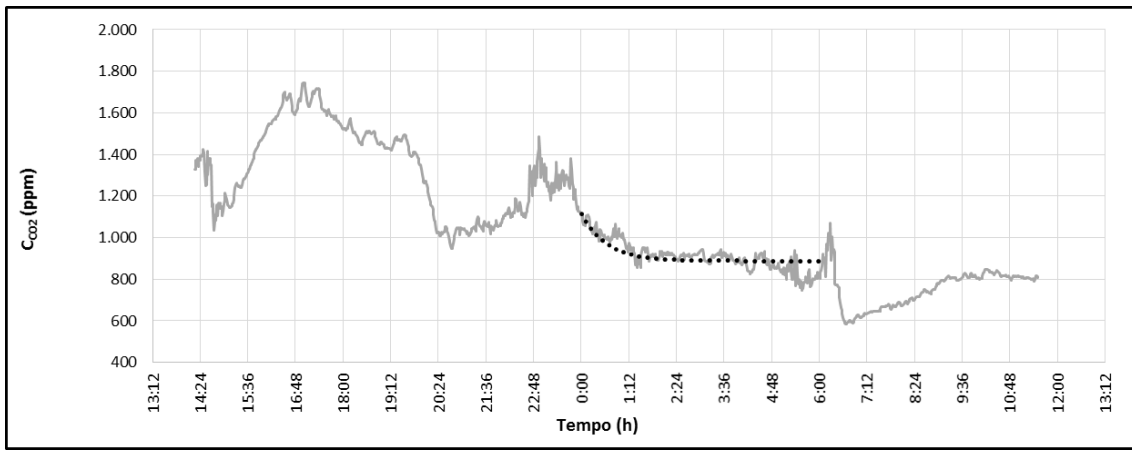


Figura 7.53 - Gráfico G43

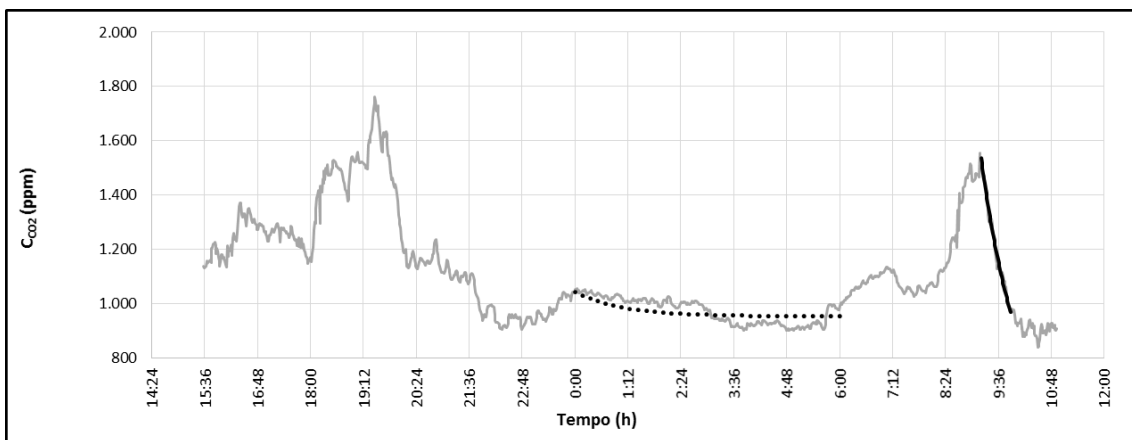


Figura 7.54 - Gráfico G53

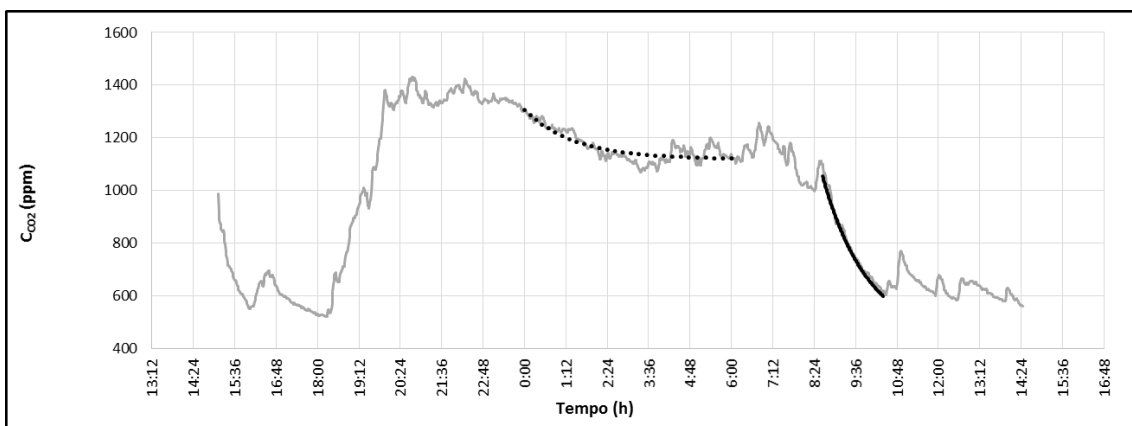


Figura 7.55 - Gráfico G58

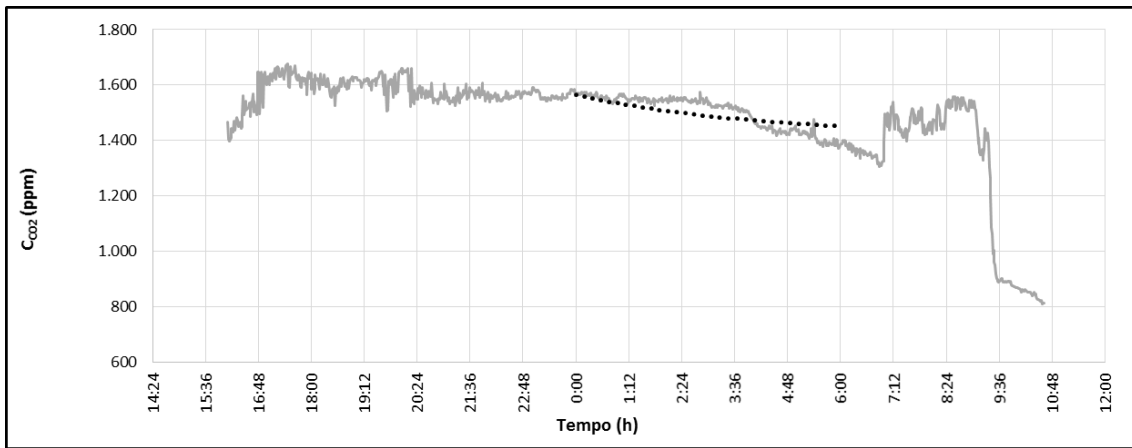


Figura 7.56 - Gráfico G61

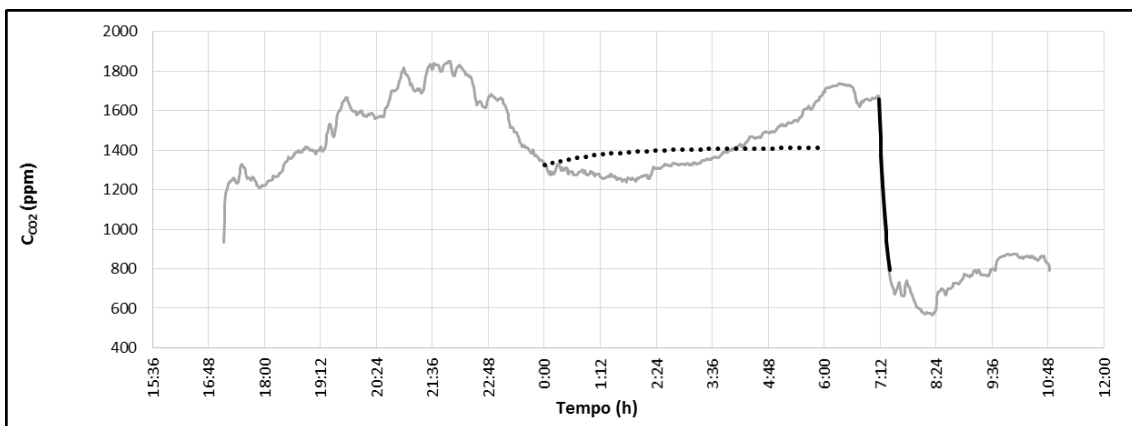


Figura 7.57 - Gráfico G64

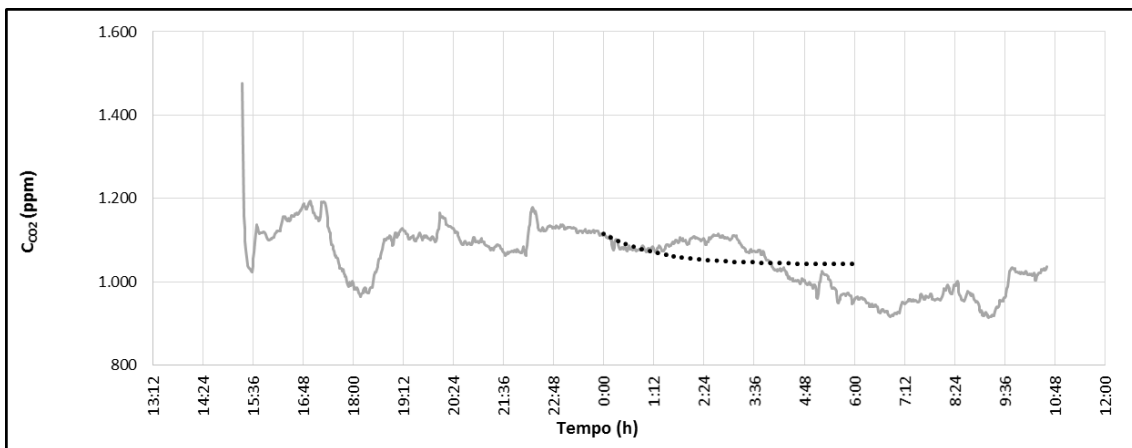


Figura 7.58 - Gráfico G69

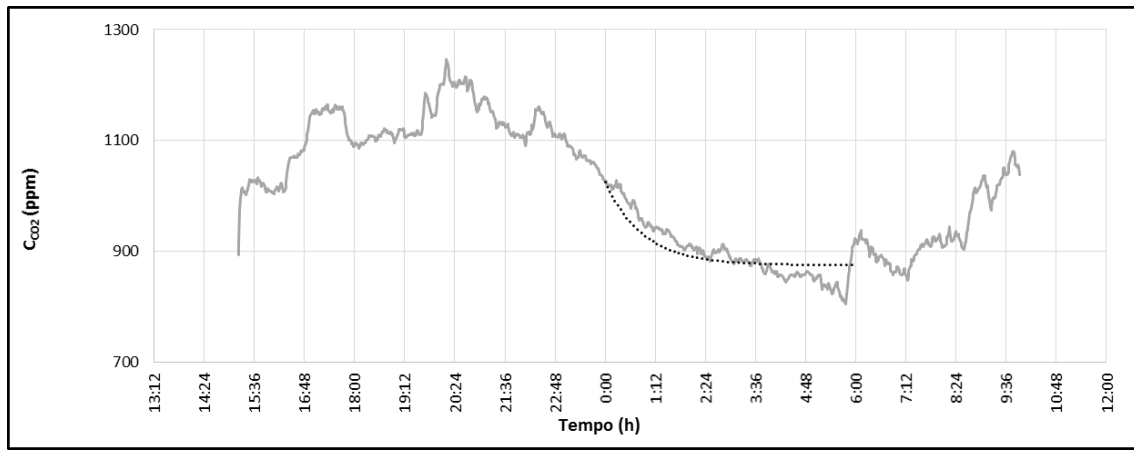


Figura 7.59 - Gráfico G70

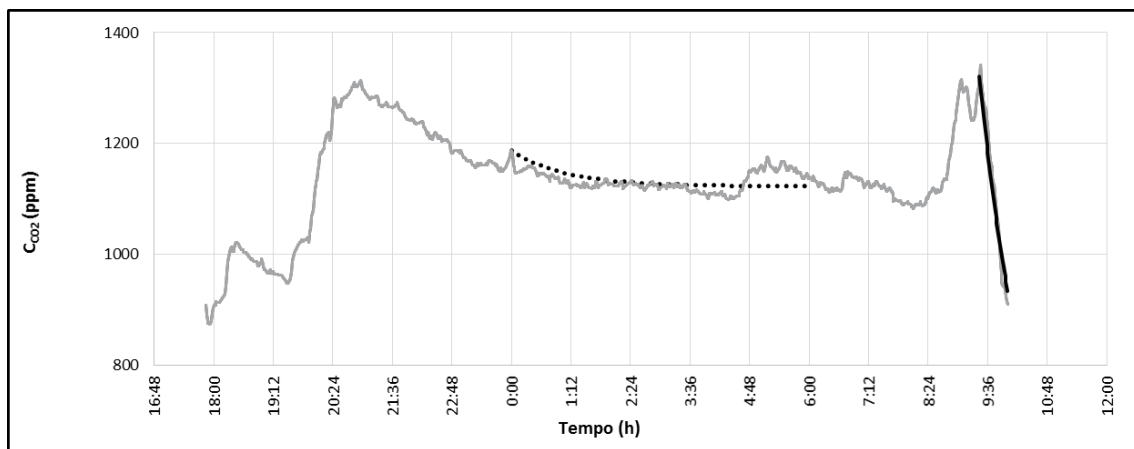


Figura 7.60 - Gráfico G75

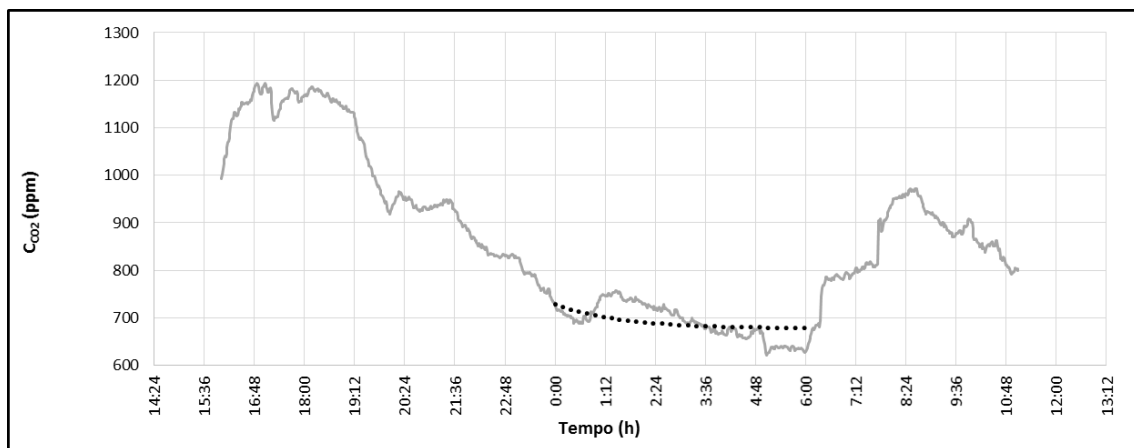


Figura 7.61 - Gráfico G80

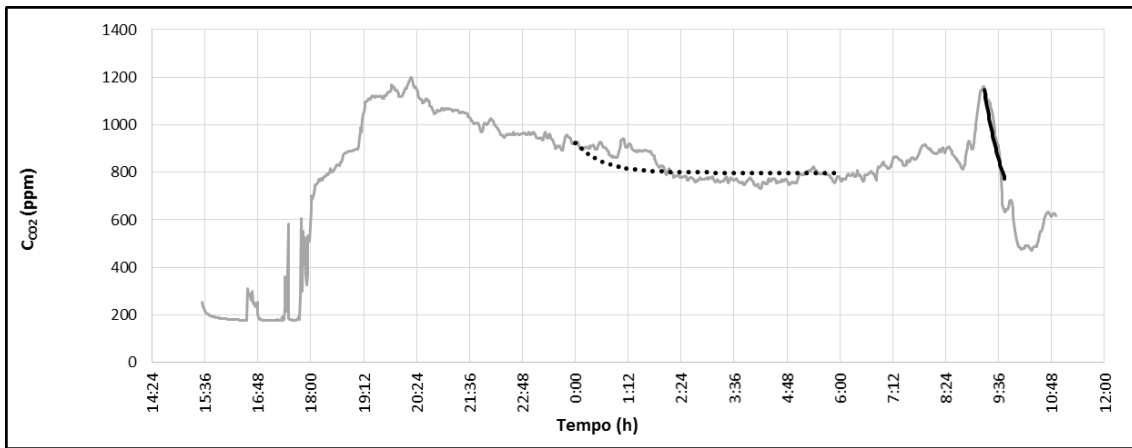


Figura 7.62 - Gráfico G85

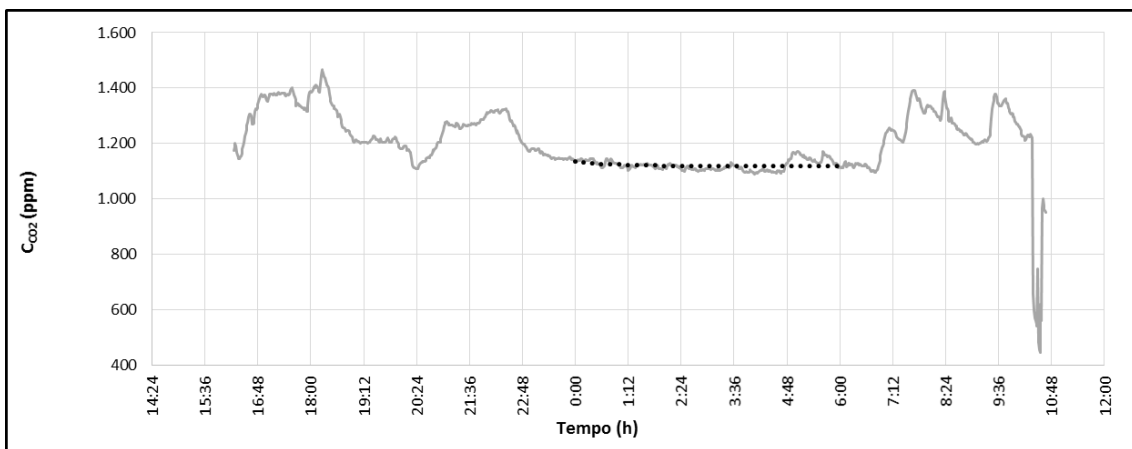


Figura 7.63 - Gráfico G87

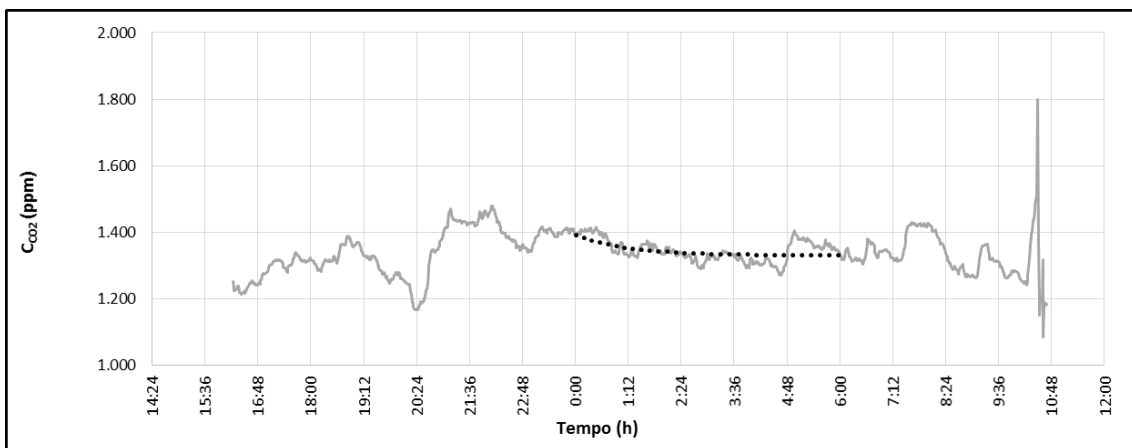


Figura 7.64 - Gráfico G89

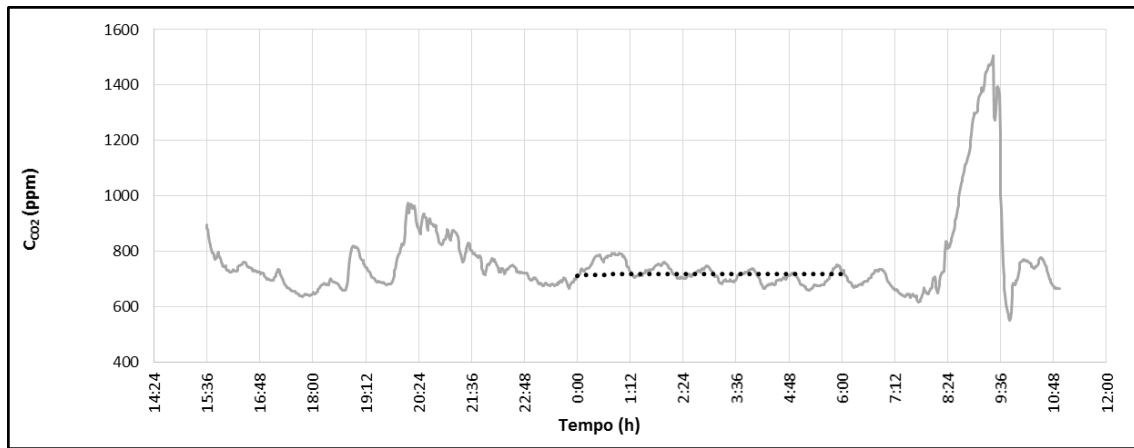


Figura 7.65 - Gráfico G91

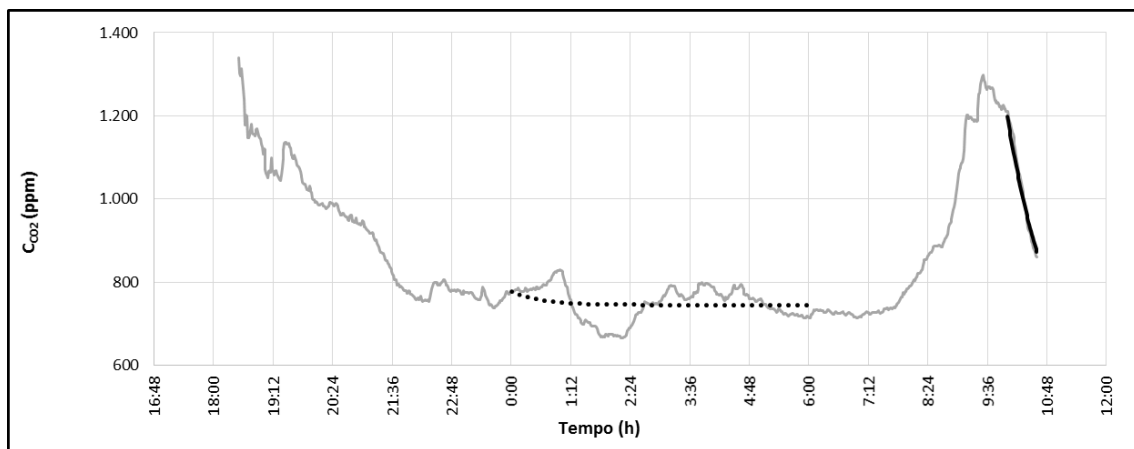


Figura 7.66 – Gráfico G96

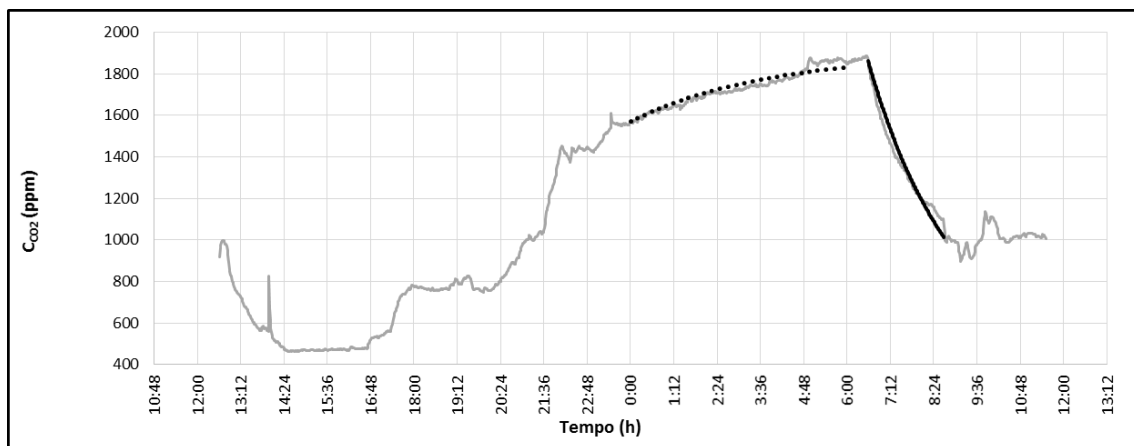




Figura 7.67 - Gráfico G108

7.3 Exemplo Checklist

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL			
Levantamento das Características Construtivas do Edificado e Monitorização do Ambiente Interior			
INFORMAÇÃO GERAL			
ID / Nome da instituição: -		Diretor: -	
Data:	Endereço: -	Contactos: -	

1. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFICADO			
Tipo de Edifício <input type="checkbox"/> Edifício Unifamiliar <input type="checkbox"/> Edifício Multifamiliar	Implantação <input type="checkbox"/> Isolado <input type="checkbox"/> Geminado <input type="checkbox"/> Em banda	Ocupação do edifício <input type="checkbox"/> Lar <input type="checkbox"/> Lar + outras utilizações Quais:	
N.º de pisos do edifício:	Ano de construção:		

1.1 INSERÇÃO URBANA			
Caracterização da zona envolvente <input type="checkbox"/> Campo (construção isolada em zona não urbanizada) <input type="checkbox"/> Zona Urbanizada	<input type="checkbox"/> no campos <input type="checkbox"/> nos arredores da cidade / subúrbios ou zona de pequena densidade de construções arredores da cidade <input type="checkbox"/> no interior da cidade	Fontes de Poluição <input type="checkbox"/> Zona sem fontes de poluição <input type="checkbox"/> Proximidade de indústrias <input type="checkbox"/> Proximidade de vias com tráfego intenso	

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE EXTERIOR			
Equipamento: -			
Hora entrada:	CO2 [ppm]	Humidade %	Temperatura °C
Hora saída:	CO2 [ppm]	Humidade %	Temperatura °C

OBSERVAÇÕES

Projeto de Investigação: GERIA – Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal
 Referência PTDG/SAU-SAP/116563/2010

1 / 1



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Levantamento das Características Construtivas do Edifício e Monitorização do Ambiente Interior

INFORMAÇÃO GERAL

ID / Nome da instituição:	-	Diretor:	-
Data:	Endereço:	Contactos:	-

2. CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL - ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL DO LAR

☐ Estrutura residencial
 ☐ Unidade Funcional
 Capacidade (n.º de idosos a residir no lar) n.º

Nome da Unidade:

N.º total de idosos:

2.1 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

Paredes (registar a espessura da parede)	<input type="checkbox"/> Alvenaria de Tijolo	<input type="checkbox"/> C/ isolamento térmico	<input type="checkbox"/> Madeira ou derivados de madeira
	<input type="checkbox"/> Alvenaria de Pedra	<input type="checkbox"/> S/ isolamento térmico	<input type="checkbox"/> Betão
Cobertura	<input type="checkbox"/> Inclínada	<input type="checkbox"/> C/ isolamento térmico	Revestimento da cobertura
	<input type="checkbox"/> Plana	<input type="checkbox"/> S/ isolamento térmico	
	<input type="checkbox"/> C/ isolamento térmico	<input type="checkbox"/> Telha Cerâmica	
	<input type="checkbox"/> S/ isolamento térmico	<input type="checkbox"/> Zinco	
		<input type="checkbox"/> Outro tipo:	

Caixilharia

Material	<input type="checkbox"/> Alumínio	<input type="checkbox"/> C/ corte térmico	Vidro	<input type="checkbox"/> Simples
	<input type="checkbox"/> Aço	<input type="checkbox"/> S/ corte térmico		<input type="checkbox"/> Duplo
	<input type="checkbox"/> PVC	<input type="checkbox"/> C/ corte térmico	Tipo de folha móvel (abertura das folhas)	<input type="checkbox"/> Batente
	<input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> S/ corte térmico		<input type="checkbox"/> Correr
Proteção Solar	<input type="checkbox"/> Interior	<input type="checkbox"/> Madeira	Junta móvel	<input type="checkbox"/> Oscilobatente
	<input type="checkbox"/> Exterior	<input type="checkbox"/> PVC		<input type="checkbox"/> S/ vedantes
		<input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> Metálico	<input type="checkbox"/> C/ Borracha
		<input type="checkbox"/> PVC	<input type="checkbox"/> Metálico	<input type="checkbox"/> C/ Pelúcia
				<input type="checkbox"/> Outros
				<input type="checkbox"/> Outros

2.2 VENTILAÇÃO DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Admissão de ar	<input type="checkbox"/> Mecânica	<input type="checkbox"/> Aberturas Dedicadas	Exatidão ar	<input type="checkbox"/> Mecânica	<input type="checkbox"/> Aberturas Dedicadas
	<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Abertura de Janelas		<input type="checkbox"/> Natural	<input type="checkbox"/> Abertura de Janelas

2.3 CLIMATIZAÇÃO DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Arrefecimento	<input type="checkbox"/> Ligado	Aquecimento	<input type="checkbox"/> Ligado
	<input type="checkbox"/> Desligado		<input type="checkbox"/> Desligado
Estratégia	<input type="checkbox"/> Centralizado	<input type="checkbox"/> Ar	Fonte de energia
	<input type="checkbox"/> Aparelhos Autónomos	<input type="checkbox"/> Água	<input type="checkbox"/> Eletricidade
			<input type="checkbox"/> Gás
			<input type="checkbox"/> Gasóleo

Quais:

2.4 AQUECIMENTO DE ÁGUAS SANITÁRIAS DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Tipo de aparelho	<input type="checkbox"/> Caldeira	<input type="checkbox"/> Gás	Localização do aparelho
	<input type="checkbox"/> Esquentador	<input type="checkbox"/> Gasóleo	<input type="checkbox"/> Exterior ao edifício
	<input type="checkbox"/> Equipamento Elétrico		<input type="checkbox"/> Interior do edifício
NOTAS:			<input type="checkbox"/> Em compartimento próprio
			<input type="checkbox"/> Na Cozinha
			<input type="checkbox"/> Nas Instalações sanitárias
			<input type="checkbox"/> Outro:

2.5 COZINHA DE ALIMENTOS DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Local	<input type="checkbox"/> Cozinha	<input type="checkbox"/> Gás	NOTAS:
	<input type="checkbox"/> Outro:	Fonte de energia <input type="checkbox"/> Eletricidade	

2.6 PATOLOGIAS RELACIONADAS COM O APARECIMENTO DE FUNGOS E/OU BOLORES DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

<input type="checkbox"/> S/ Patologia	<input type="checkbox"/> Condensações	<input type="checkbox"/> Infiltrações
<input type="checkbox"/> C/ Patologia	<input type="checkbox"/> Cobertura	<input type="checkbox"/> Cobertura
	<input type="checkbox"/> Caldearia	<input type="checkbox"/> Caldearia
	<input type="checkbox"/> Pavimento	<input type="checkbox"/> Paredes
	<input type="checkbox"/> Paredes	<input type="checkbox"/> Instalações de água e esgotos



Data da realização de obra de melhoramento das instalações:

2.7 PRÁTICAS DOS UTILIZADORES DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Ventilação			
Primavera	Acesso principal	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas	Nota:
	Vãos de janela e portas exteriores	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas <input type="checkbox"/> Sempre Fechadas	
Verão	Acesso principal	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas	Nota:
	Vãos de janela e portas exteriores	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas <input type="checkbox"/> Sempre Fechadas	
Outono	Acesso principal	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas	Nota:
	Vãos de janela e portas exteriores	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas <input type="checkbox"/> Sempre Fechadas	
Inverno	Acesso principal	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas	Nota:
	Vãos de janela e portas exteriores	<input type="checkbox"/> Abertas <input type="checkbox"/> Fechadas <input type="checkbox"/> Sempre Fechadas	

2.9 OPINIÃO DOS UTILIZADORES DA ESTRUTURA RESIDENCIAL / UNIDADE FUNCIONAL

Conforto	Conforto no Verão	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde	Conforto no Inverno	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde	
	Qualidade do ar	Primavera	<input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Má <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde	Verão	<input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Má <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde
		Outono	<input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Má <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde	Inverno	<input type="checkbox"/> Boa <input type="checkbox"/> Má <input type="checkbox"/> Não sabe / não responde

	LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	
Levantamento das Características Construtivas do Edificado e Monitorização do Ambiente Interior		
INFORMAÇÃO GERAL		
ID / Nome da instituição:		Diretor:
Data:	Endereço:	Contactos:
3. CARACTERIZAÇÃO DO COMPARTIMENTO		
Nome da Unidade:		N.º Idosos:
ID/ Nome compartimento:	Piso:	Área:
Pê-direito:		
3.1 CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA		
Caixa-lheira		
Material	<input type="checkbox"/> Alumínio <input type="checkbox"/> Aço <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Madeira	<input type="checkbox"/> C/ corte térmico <input type="checkbox"/> S/ corte térmico <input type="checkbox"/> C/ corte térmico <input type="checkbox"/> S/ corte térmico <input type="checkbox"/> C/ corte térmico <input type="checkbox"/> S/ corte térmico
Proteção Solar	<input type="checkbox"/> Interior <input type="checkbox"/> Exterior	<input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> PVC
Acabamentos interiores		Vidro
Paredes		<input type="checkbox"/> Simples <input type="checkbox"/> Duplo
Tecto		Tipo de folha móvel (abertura das folhas)
Pavimento		<input type="checkbox"/> Batente <input type="checkbox"/> Correr <input type="checkbox"/> Oscilobatente <input type="checkbox"/> S/ vedantes <input type="checkbox"/> C/ Borracha <input type="checkbox"/> C/ Pelúcia
<input type="checkbox"/> C/ Lameira <input type="checkbox"/> S/ Lameira		Junta móvel
<input type="checkbox"/> C/ tecto falso <input type="checkbox"/> S/ tecto falso		<input type="checkbox"/> S/ vedantes <input type="checkbox"/> C/ Borracha <input type="checkbox"/> C/ Pelúcia
<input type="checkbox"/> Madeira <input type="checkbox"/> Cerâmico <input type="checkbox"/> Vinílico		<input type="checkbox"/> Outros
<input type="checkbox"/> Cortiça <input type="checkbox"/> Outros:		<input type="checkbox"/> Basculante (folha de ventilação)
3.2 VENTILAÇÃO DO COMPARTIMENTO		
Admissão de ar		Exaustão de ar
<input type="checkbox"/> Mecânica <input type="checkbox"/> Natural		<input type="checkbox"/> Mecânica <input type="checkbox"/> Natural
<input type="checkbox"/> Aberturas Dedicadas <input type="checkbox"/> Abertura de Janelas		<input type="checkbox"/> Aberturas Dedicadas <input type="checkbox"/> Abertura de Janelas
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Projeto de Investigação: GERIA – Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal Referência PTDC/SAU-SAP/116563/2010 </div> <div>1 / 2</div> </div>		

3.4 CLIMATIZAÇÃO DO COMPARTIMENTO					
Arrefecimento	<input type="checkbox"/> Ligado <input type="checkbox"/> Desligado	Aquecimento	<input type="checkbox"/> Ligado <input type="checkbox"/> Desligado		
Estratégia	<input type="checkbox"/> Centralizado <input type="checkbox"/> Aparelhos Autónomos Quais:	<input type="checkbox"/> Ar <input type="checkbox"/> Água	Fonte de energia	<input type="checkbox"/> Eletricidade <input type="checkbox"/> Gás	<input type="checkbox"/> Gasóleo
3.5 PATOLOGIAS RELACIONADAS COM O APARECIMENTO DE FUNGOS E/OU BOLORES DO COMPARTIMENTO					
<input type="checkbox"/> S/ Patologia					
<input type="checkbox"/> C/ Patologia					
		<input type="checkbox"/> Condensações <input type="checkbox"/> Calharia <input type="checkbox"/> Pavimento <input type="checkbox"/> Paredes	<input type="checkbox"/> Infiltrações <input type="checkbox"/> Calharia <input type="checkbox"/> Paredes	<input type="checkbox"/> Cobertura <input type="checkbox"/> Instalações de água e esgotos	
3.6 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE INTERIOR					
Equipamento: -					
Instalação	Data:	CO2 [ppm]	Humidade %	Temperatura °C	
	Hora:				
Janelas	<input type="checkbox"/> Aberta	<input type="checkbox"/> Fechada			
Portas	<input type="checkbox"/> Aberta	<input type="checkbox"/> Fechada			
Recolha	Data:	CO2 [ppm]	Humidade %	Temperatura °C	
	Hora:				
Janelas	<input type="checkbox"/> Aberta	<input type="checkbox"/> Fechada			
Portas	<input type="checkbox"/> Aberta	<input type="checkbox"/> Fechada			
Projeto de Investigação: GERIA – Estudo Geriátrico dos Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares da 3ª Idade de Portugal Referência PTDC/SAU-SAP/116563/2010					

7.4 Salas de Estar

ID Lares	Ocupação (nº de utentes)	Max Hr (%)	Max T (°C)	Média CO ₂ (ppm)	Max CO ₂ (ppm)
L01	17	68,2	22,7	821	826
L02	18	56,2	27,2	637	751
L02	10	65,3	23,4	677	925
L02	19	59,2	23,8	478	479
L02	20	60,6	26,9	403	607
L03	7	48,1	25,8	625	634
L04	14	65,3	26,6	719	772
L05	7	56,7	23,7	1.170	1.482
L06	2	70,7	23,1	550	580
L07	29	51,3	22,2	981	1.023
L08	10	54,8	25,5	910	935
L09	2	61,5	25,2	657	692
L10	11	51,4	23,4	1.457	1.535
L11	8	59,1	21,6	2.499	2.499
L12	21	45,6	22,9	1.183	1.226
L13	2	55,4	21,3	912	1.331
L13	11	58,3	21,8	917	935
L14	15	60,7	20,8	918	1.320
L15	15	63,4	26,7	860	897
L16	25	71,7	22,7	1.054	1.107
L17	15	56,3	22,3	753	833
L17		58,8	21,3	772	832
L17	6	61,7	22,5	677	843
L17	4	60,4	21,7	664	688
L18	20	61,3	23,8	1.168	1.219
L19	6	46,5	22,7	694	708
L19	7	60,0	21,9	1.480	1.501
L20	19	63,2	23,0	1.695	1.722
L22	20	40,1	22,0	1.122	1.166
L24	10	41,4	24,8	471	656
L25	9	42,1	25,1	1.005	1.029
L26	6	59,7	20,3	1.313	1.346
L27	11	56,9	23,7	1.012	1.044
L28	14	60,3	20,5	1.316	1.339
L29	3	51,6	23,4	994	1.118
L29	5	49,0	21,5	717	744
L30	6	75,8	19,4	1.111	1.163
L31	3	43,7	20,8	931	939
L32	15	45,8	18,8	1.026	1.518
L33	4	52,5	22,7	640	647

7.5 Grupo A – Quartos de Dormir

ID Lar	Gráfico	Tipologia	Max Hr (%)	Max T (°C)	Max CO ₂ (ppm)	CO ₂ estacionário (ppm)	CO ₂ noturno (ppm)	Rph tipo1 (h ⁻¹)		Rph tipo2 (h ⁻¹)
L01	G1	Duplo	83	21,7	1979	1667	1822	0,68	0,55	0,68
L01	G2	Individual	73	22,9	1799	1498	1531	0,87	0,83	2,46
L02	G117	Triplo	60	29,3	1035	950	1035	1,78	1,30	1,05
L03	G7	Duplo	58	25,6	1081	740	1081	1,62	1,75	3,83
L05	G12	Individual	65	26,3	1327	1029	1327	0,54	-	-
L05	G14	Individual	71	23,7	2346	2106	2213	0,42	0,29	1,17
L06	G15	Duplo	74	23,3	1477	1436	1477	0,75	-	1,86
L06	G17	Duplo	75	22,6	1578	1489	1578	0,26	0,24	3,24
L07	G19	Triplo	78	22,9	1409	1361	1409	0,71	0,66	1,59
L07	G20	Triplo	65	21,2	1399	1024	1287	0,80	0,69	-
L09	G24	Duplo	52	26,3	1034	758	843	1,87	-	2,95
L10	G27	Duplo	73	23,8	2354	2267	2354	0,28	-	4,36
L11	G31	Duplo	63	21,1	2499	2269	2362	0,35	0,38	4,59
L12	G33	Duplo	63	23,5	1360	1245	1360	0,40	-	9,48
L13	G38	Triplo	70	21,2	1812	1770	1812	0,39	0,41	-
L14	G42	Duplo	75	19,7	2199	1935	2199	0,70	0,67	-
L15	G45	Duplo	77	25,5	1652	1632	1652	0,52	0,43	0,86
L15	G46	Duplo	77	22,1	1714	1553	1714	0,00	-	-
L16	G48	Triplo	82	22,1	1727	1309	1411	0,88	0,78	0,88
L16	G49	Triplo	74	20,7	1313	1026	1313	1,83	1,47	1,49
L17	G51	Triplo	65	21,1	1404	1331	1404	0,64	-	2,46
L17	G55	Duplo	60	24,5	1039	973	1039	1,04	-	2,98
L17	G56	Duplo	55	24,1	1359	1303	1359	0,46	-	1,47
L17	G57	Duplo	66	20,8	901	813	847	1,26	1,13	1,64
L17	G60	Duplo	59	26,2	1310	1213	1310	1,25	-	1,19

ID Lar	Gráfico	Tipologia	Max Hr (%)	Max T (°C)	Max CO ₂ (ppm)	CO ₂ estacionário (ppm)	CO ₂ noturno (ppm)	Rph tipo1 (h ⁻¹)		Rph tipo2 (h ⁻¹)
L18	G65	Duplo	77	24,6	1763	1685	1763	0,60	0,47	1,03
L18	G66	Duplo	74	21,6	1360	1035	1360	1,19	-	-
L20	G72	Duplo	69	22,3	1918	1713	1911	0,38	-	4,20
L20	G73	Triplo	64	23,5	1916	1799	1916	0,37	-	-
L22	G76	Duplo	52	21,9	1629	1570	1629	4,07	-	0,00
L22	G78	Duplo	39	25,1	1028	930	1028	0,96	1,03	1,46
L23	G79	Individual	66	21,7	1057	994	1057	0,33	-	1,32
L24	G82	Duplo	77	23,5	1540	1199	1337	0,63	-	1,90
L24	G83	Duplo	63	25,2	1455	907	1068	1,10	-	-
L25	G86	Duplo	61	20,6	1492	1468	1492	0,58	-	3,13
L27	G92	Duplo	67	23,0	1699	1612	1699	0,38	-	2,75
L29	G109	Duplo	74	20,7	2409	2149	2210	0,75	-	6,00
L30	G98	Duplo	81	20,0	2048	1931	2048	0,33	-	6,57
L30	G99	Triplo	78	18,6	1660	1609	1660	0,47	0,48	1,04
L31	G100	Duplo	62	18,7	1465	1144	1465	0,70	-	0,70
L31	G102	Duplo	48	21,1	1469	1428	1469	0,74	-	0,58
L32	G103	Individual	69	15,4	1596	1249	1358	0,47	-	0,38
L32	G105	Duplo	62	16,8	1503	1271	1400	0,49	-	-
L33	G106	Individual	74	22,5	1330	1239	1330	0,54	0,42	0,70

7.6 Grupo B – Quartos de Dormir

ID Lar	Gráfico	Tipologia	Max Hr (%)	Max T (°C)	Max CO ₂ (ppm)	CO ₂ estacionário (ppm)	CO ₂ noturno (ppm)	Rph tipo1 (h ⁻¹)		Rph tipo2 (h ⁻¹)
L03	G6	Triplo	56	26,0	762	672	730	3,12	-	-
L04	G10	Duplo	73	26,6	1179	937	1053	1,10	-	1,54
L04	G11	Triplo	72	26,9	1511	1214	1511	1,58	-	0,53
L08	G22	Duplo	65	27,1	1165	581	640	4,10	-	-
L08	G23	Duplo	59	25,1	1453	795	883	4,52	-	-
L09	G25	Individual	59	26,3	851	487	543	-	-	-
L10	G28	Triplo	72	24,6	1872	1024	1872	0,75	-	1,03
L11	G32	Duplo	63	21,1	2153	957	1089	1,96	-	4,96
L12	G35	Duplo	73	22,9	1034	749	847	1,54	-	-
L13	G37	Duplo	60	22,2	1340	760	1029	2,03	-	-
L13	G64	Triplo	64	20,4	1851	1278	1851	0,77	-	5,47
L14	G43	Triplo	54	21,9	1745	894	1488	1,61	-	-
L17	G58	Duplo	57	23,9	1432	1137	1432	0,68	-	0,76
L17	G53	Triplo	64	23,3	1762	975	1134	0,92	-	1,08
L17	G61	Individual	71	21,8	1678	1554	1593	0,24	-	-
L19	G70	Duplo	64	20,3	1247	883	1161	1,10	-	-
L19	G69	Duplo	65	21,7	1477	1099	1178	0,78	-	-
L21	G75	Duplo	52	23,0	1342	1134	1314	0,92	-	1,03
L23	G80	Duplo	69	20,7	1194	698	955	0,63	-	-
L25	G85	Quadruplo	53	24,8	1200	850	1200	1,63	-	1,71
L26	G87	Triplo	68	19,6	1466	1119	1326	1,43	-	-
L26	G89	Duplo	71	19,4	1798	1347	1480	0,93	0,86	-
L27	G91	Duplo	58	23,5	1506	720	794	1,73	-	-
L29	G96	Duplo	70	21,2	1340	753	846	1,68	1,34	0,94
L33	G108	Duplo	59	23,1	1888	1866	1888	0,27	-	0,43

